Nb
2195

N6 62

КРАТКИЕ РУКОВОДСТВА
ПО СПЕЦИАЛЬНЫМ ОТРАСЛЯМ
ТЕХНИКИ

Проф. А. Л. ФЕСТА

РЕЖУЩИЕ ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛА

741

RS 3900

ГОСУДАРСТВЕННОЕ
ИЗДАТЕЛЬСТВО
И
ГЛАВТУЗ
1930

741 срест
Реж. инструмент

~~23/VII Христич~~
~~23/IX Троше~~

30741

КРАТКИЕ РУКОВОДСТВА
ПО СПЕЦИАЛЬНЫМ ОТРАСЛЯМ ТЕХНИКИ

Серия учебных пособий
для втузов и техникумов,
издаваемая по инициативе и при участии
Главного управления высшими
техническими учебными
заведениями при
ВСНХ СССР
(Главтуз)

№ 13

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

БІБЛІОТЕКА
Кафедра Механоскладального
Виробництва КІІ
Інв. № 741
Індекс

Проф. А. Л. ФЕСТА

Кабінет
НОП
КПІ

РЕЖУЩИЕ ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛА

С ПРЕДИСЛОВИЕМ
ПРОФ. М. А. САВЕРИНА

Допущено Наркомпросом РСФСР в качестве учебного пособия для втузов и техникумов

БІБЛІОТЕКА
Кафедра Механоскладального
Виробництва КІІ
Інв. №
Індекс

НАУКОВА КНИГАРНЯ
Д. В. У.
Київ,
Ворошиловського 41

МОСКВА — ЛЕНИНГРАД — 1930

ОТПЕЧАТАНО
в 1-й Образцовой типографии
ГИЗа. Москва, Валовая, 28.
Главлит А-50764. Н. 60. Гиз 35622.
Заказ № 3044. Тираж 4000 экз.
14 п. л.

ПРЕДИСЛОВИЕ.

Предлагаемый труд покойного профессора Московского механического института им. Ломоносова — А. Л. Фесты представляет изложение части курса по холодной обработке металлов, который он начал читать в вышеуказанном учебном заведении в то время, когда оно еще было практическим институтом. Судя по материалам, составленным автором, задачи, которые он ставил себе, выполняя эту работу, сводились главным образом к обслуживанию учащейся молодежи высших и средних технических школ в той части механической технологии, литература по которой на русском языке лишь в последнее время обогатилась рядом материалов, преимущественно переводных. Соответственно установке практических институтов и техникумов автор отводит минимум места объяснениям по теории резания, давая ее в весьма элементарной форме, и центр тяжести переносит на оценку и выбор, расчет и конструктирование, механическую и технологическую обработку инструмента. В этом направлении следует признать, что покойным проделана крупная работа по изучению большого, но рассеянного материала, в результате чего ему удалось обеспечить своих слушателей большим количеством ценных сведений. Так как методы обработки инструмента и сама его конструкция изменяются в связи с новыми достижениями техники и с масштабами производства, то автор мыслил, что, обслуживая своих учеников, он должен дать им лишь основы, позволяющие им не быть безоружными в механических и инструментальных цехах наших мелких и средних предприятий общего машиностроения.

По поручению Государственного издательства инж. Б. Н. Зиминым в книгу внесены некоторые дополнения (о резцах Клопштока, круглых резцах и пр.), переработан отдел термической обработки и заменены более современными некоторые таблицы.

Проредактировав, согласно поручению Госиздата, материалы, приготовленные к печати, нижеподписавшийся не нашел уместным внести какие-либо коренные в них изменения, ограничившись устранением ряда неясных в изложении мест, корректированием некоторых цифр и чертежей. Есть все основания надеяться, что предлагаемый труд можно будет достаточно широко использовать в наших техникумах с механическим уклоном и частично в вузах, а также и среди технического персонала предприятий промышленности.

Проф. *М. А. Саверин.*

ОГЛАВЛЕНИЕ.

Стр.

Предисловие 5

Введение. Общие понятия о режущих инструментах 9

Глава I. **Резец и его работа.**

Усилие на резце 13
Определение положения режущей кромки резца 16
Токарные резцы 19
Обдирочные резцы 20
Выбор профиля стали для резца 25
Положение резца при резании 28
Чистовые резцы 32
Резцы подрезные, прорезные и отрезные 34
Резцы для внутренней расточки 36
Наварные резцы 39
Фасонные резцы 41
Резцы для нарезки резьбы 49
Резцы раздвижные 54
Материал для изготовления резцов 55
Закалка резцов 57
Испытание стали искровой пробой 62
Нагревание резцов 63
Свинцовые и соляные ванны-печи 64
Охлаждение резцов 65
Отпуск резцов после закалки 66
Общие выводы 67

Глава II. **Фрезы.**

Работа фрезы 71
Углы резания фрез 76
Классификация фрез 79
Конструирование и расчет фрез 87
Направление вращения фрезы 92
Фрезы со спиральным направлением лезвия 99
Фрезы со вставными зубцами 104
Дисковые фрезы 105
Фрезы торцевые 109
Изготовление фрез 116
Заготовка материала для фрез 117
Разработка отверстия 118

Стр.

Обточка поверхности вращения 120
Нарезка зубцов 121
Термическая обработка фрез 131
Шлифовка отверстия или хвоста 133
Поверка контуров 135
Заточка задней грани 136

Глава III. **Инструменты для нарезания резьбы.**
Метчики 149
Работа метчиком 153
Классификация метчиков 154
Изготовление метчиков 156
Операции до закалки 157
Операции после закалки 106
Значение задней заточки 161
Плашки 165
Изготовление плашек 168
Гребенки 173
Изготовление гребенок 177
Приспособления для нарезки резьбы 178

Глава IV. **Инструменты для сверления.**
Перки 181
Пушечные сверла 184
Спиральные сверла 186
Изготовление спирального сверла 196
Обработка до закалки 197
Закалка сверла 202
Отпуск 205
Шлифовка . . . . . —
Выбор скоростей резания 215
Испытание материалов помощью сверления 219

Глава V. **Развертывание отверстий** 221

При составлении этого руководства автором были использованы следующие источники:

1. *E. Simon.* Schneidestähle. 2 Aufl.
2. *W. Hippler.* Die Dreherei und ihre Werkzeuge.
3. *E. Preger.* Werkzeuge und Werkzeugmaschinen.
4. *K. Meyer.* Technologie des Maschinentechnikers.
5. *Ruppert.* Aufgaben und Fortschritte des deutsch. Werkzeugmaschinenbau.
6. *Fischer.* Werkzeugmaschinen. 1—2 Aufl.
7. *Hütte.* Werkzeugmaschinen. 4 Aufl.
8. „ Die Grundzuge der Werkzeugmasch. 1—2 B.
9. *Müller.* Gewindeschneiden.
10. *E. Iurthe S. O. Mietzschk?.* Handbuch der Fräserei.
11. *L. d. V. D. I.*—1912—1923.
12. *Werkstattstechnik.*—1912—1923.
13. *Fr. Taylor.* On the art of cutting metals.
14. *H. Bradley.* The heat treatment of tool steel.
15. *А. Гавриленко.* Технология металлов. IV том.
16. *В. Поляков.* Технология металлов.
17. *Брикс.* Теория резания.
18. *Кнаббс.* Фреза и ее роль в современном машиностроении.
19. *Зворыкин.* Испытание резцов.
20. *Тиме.* Испытание резцов.
21. *Крылов.* Выборы стали по ее составу и свойствам.
22. *Аббас.* Обработка металлов.

Различные каталоги, прейс-куранты фирм и данные заводов.

Автор.

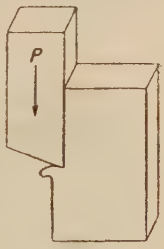
ВВЕДЕНИЕ.

ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТАХ.

Чтобы осуществить возможность резания металлов в холодном состоянии, необходимо иметь особые инструменты, способные под действием усилия проникать в материал своими специально заостренными краями, отделяя при этом часть металла обрабатываемой детали.

Основной формой таких режущих инструментов является клин, очертания режущих кромок которого находятся в полной зависимости как от свойств материала, подлежащего обработке, так и от условий, в которых происходит его срезывание.

Несмотря однако на чрезвычайное разнообразие способов расщепления металлов помощью самых разнообразных инструментов в практике почти во всех без исключения случаях приходится наблюдать, что клин проникает в металл на сравнительно небольшую глубину и отделяет от него слой, отгибающийся в сторону наименьшего внешнего сопротивления. Чтобы такой клин мог проникать в глубь металла, необходимо, чтобы действующее на него усилие могло преодолеть сопротивление сил внутреннего сцепления и усилий отгибающегося слоя срезанного металла. Иначе говоря сила P, побуждающая клин к резанию металла, должна быть более суммы всех сил сопротивления (фиг. 1).



Фиг. 1.

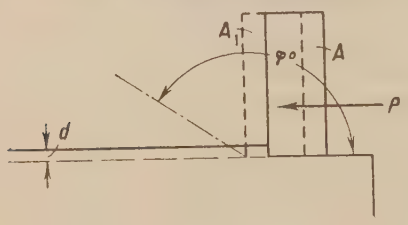
Главнейшим, хотя и самым простым по виду, осуществлением режущего инструмента в форме клина, является так называемый резец.

Так как все остальные инструменты представляют из себя видоизменения или комбинации форм резца, то естественно, что рассмотрение их необходимо начать с резца, попытавшись наметить для него наивыгоднейшие очертания.

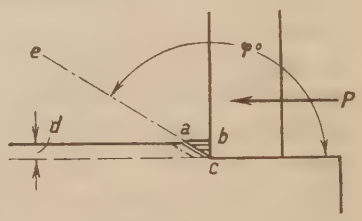
ГЛАВА I.

РЕЗЕЦ И ЕГО РАБОТА.

Так как при резании металла на резец действуют различные силы, от которых в значительной степени зависит его положение и особенно форма клина, а последнюю мы предполагаем пока неизвестной, то для установления ее необходимо подробнее разобрать действие сил, проявляющихся в процессе резания. Предположим, что нам нужно снять некоторый слой металла помощью стального бруска, имеющего форму прямого параллелепипеда (фиг. 2). Чтобы такой резец мог осуществлять срезывание металла, необходимо, чтобы он под действием силы P получил непрерывное поступательное движение в направлении стрелки по обрабатываемому материалу, при установке переднего ребра на толщину снимаемого слоя d.



Фиг. 2.



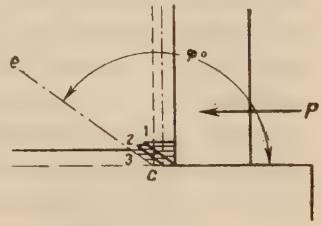
Фиг. 3.

Вследствие действия силы P резец в своем положении A и A_1 будет несколько сжимать материал, испытывая со своей стороны соответствующее усилие от него на переднюю грань. Когда однако действие силы P преодолеет сопротивление сцепления частиц материала, последний отколется в виде кусочка abc по плоскости cl, называемой плоскостью скалывания [1]), и при дальнейшем движении резца он получит сдвиг вверх по направлению передней грани резца (фиг. 3).

---

[1]) Плоскость скалывания cl образует с плоскостью направления движения резца угол φ — скалывания, который для различных металлов колеблется от 135° до 155°.

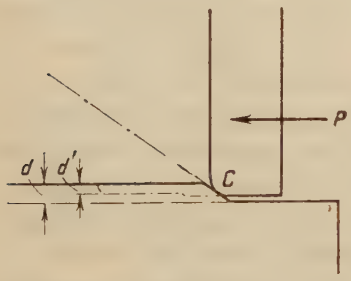
Вслед за сдвигом первого кусочка слоя металла под влиянием продолжающегося движения резца, будут скалываться (фиг. 4) и сдвигаться по его грани все новые и новые кусочки материала 1, 2, 3 и т. д., до тех пор, пока ребро *C* двухгранного угла параллелепипеда, проникающего своим заострением в материал, не потеряет своей остроты, затупившись до значительного закругления.



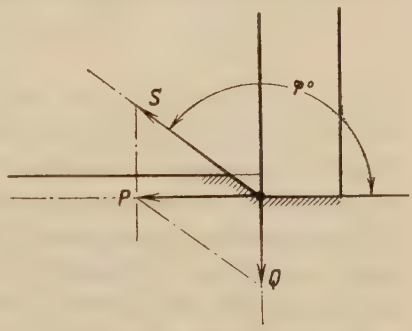
Фиг. 4.

Следовательно наибольшую нагрузку при работе резания металла несет и испытывает ребро резца *C*, называемое поэтому режущим ребром или лезвием резца.

По мере того как лезвие резца затупляется, дальнейшая работа его протекает уже в новых условиях: резец под влиянием закругления труднее проникает в материал, причем под влиянием трения поднимается вверх по плоскости скалывания (за счет упругости инструмента, станка и обрабатываемого изделия), уменьшая толщину снимаемого слоя металла; в то же время он испытывает от защемления продольный изгиб, вызывающий нередко его поломку (фиг. 5).



Фиг. 5.



Фиг. 6.

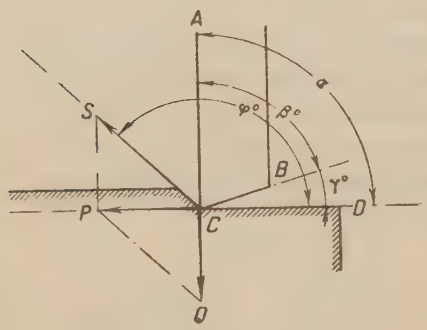
Для того чтобы таким резцом можно было продолжать работу, его режущее ребро нужно заточить или заострить снова, отчего трение между ним и плоскостью уменьшится, и он опять сможет легко проникать в материал. При этом усилие *P*, действующее на резец в направлении его движения, можно разложить на силу *S* по направлению плоскости скалывания и на силу *Q*, перпендикулярную к направлению движения (фиг. 6).

Таким образом сила, действующая на резец, должна преодолеть силу *S*, противодействующую скалыванию материала, и силу *Q*, соз-

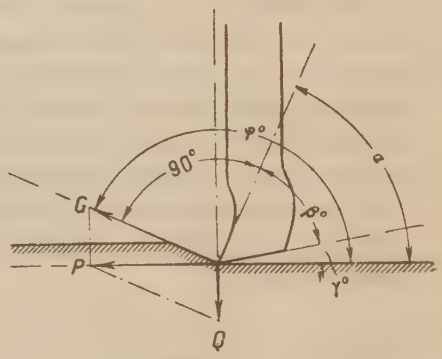
дающую трение между поверхностями резца и обрабатываемого материала, — иначе говоря, она должна быть более суммы всех сил сопротивления.

Проникновение резца (фиг. 6) затруднено и вызывает большое нагревание, способствующее быстрому износу резца, могущего в силу нагрева стать мягким и притти в негодность. Улучшить резец можно, придав ему форму косого бруса, соприкасающегося с обрабатываемым материалом не по плоскости, а лишь по прямой линии C (фиг. 7).

Такой клиновидный резец своими поверхностями или гранями образует с обрабатываемою поверхностью углы γ° и α°, имеющие особо важное значение в смысле осуществления резания металла.



Фиг. 7.



Фиг. 8.

Угол γ°, образуемый заднею гранью резца с обрабатываемою поверхностью, называется задним углом или углом установа: он для различных материалов и даже для одного и того же материала, но для резцов разного назначения выбирается не постоянным и обычно колеблется от 2,5° до 12°.

Угол α°, образуемый переднею гранью резца с поверхностью обрабатываемого материала, носит название угла резания, и величина его для резцов разного назначения и для различных материалов еще более чем для заднего угла является величиною переменною; он однако почти всегда представляет собой острый угол (за исключением самых редких случаев) и лишь в пределе достигает 90°.

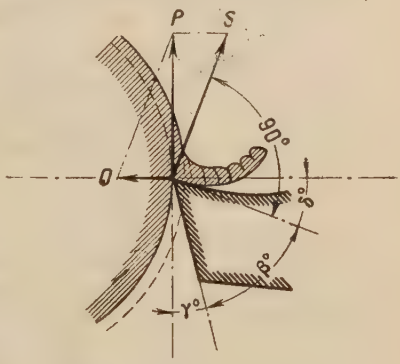
Угол, образуемый переднею и задней гранями резца, носит название угла резца, угла заострения или заточки и равняется разности углов резания и установа, т. е.

$$\beta^\circ = \alpha^\circ - \gamma^\circ$$

или иначе говоря угол α° всегда равен сумме углов заострения и установа

$$\alpha^\circ = \beta^\circ + \gamma^\circ. \qquad 1$$

Так как в рассмотренном нами случае направление усилия передней грани, идущее на скалывание материала, не совпадает с направлением плоскости скалывания, то естественно, что передняя перпендикулярная к направлению движения грань резца испытывает сильное противодавление со стороны отделяющегося слоя материала и тем самым затрудняет резание. Чтобы еще улучшить условия резания, нужно ослабить давление стружки на переднюю грань резца, т. е. иначе говоря дать ей некоторый наклон к направлению движения резца (фиг. 8).



Фиг. 9.

Если передней грани резца придать такой уклон, чтобы она с плоскостью скалывания образовала угол $\sim 90^\circ$, то все усилие передней грани на срезываемый материал будет использовано на скалывание его и потому стружка будет отделяться легче, образуя длинную спиральную ленту при достаточно вязком материале. Такая стружка, отделяющаяся от общей массы материала ранее чем наступает ее полное скалывание, носит название сплошной стружки и со стороны передней грани резца она имеет вид очень гладкой, спирально завитой пружины, внутренняя поверхность которой представляется матовой и шероховатой, обнаруживая следы сдвига отдельных, не успевших сколоться частиц металла (фиг. 9).

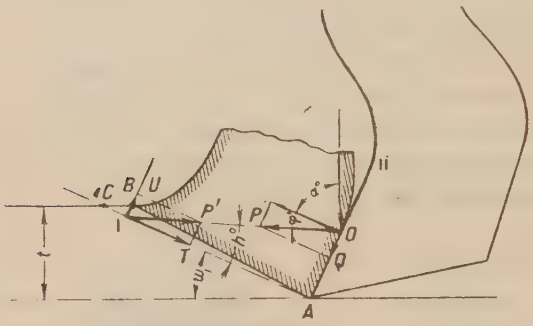
Процесс отделения стружки можно представить себе следующим образом: в первый период, когда резец врезается в материал, он сдавливает его; давление в это время возрастает и когда оно превзойдет силу сцепления между частицами материала, стружка отделяется и скользит по передней грани резца. При этом давление падает и начинает опять возрастать при осаживании следующего слоя стружки. Такое чередование осадки и скольжения и является причиной чешуйчатости и растрескиванности задней поверхности стружки.

Усилие на резце.

Если принять средний угол трения на передней грани φ и допустить, что касательная напряжения в материале в плоскостях

близких скалывающей (например AC) распределены равномерно, то необходимое усилие для осуществления резания найдем из следующих соображений (фиг. 10).

Пусть толщина снимаемого слоя будет t, условная плоскость скалывания — AC и касательное напряжение в ней от силы — T будет равно — K', тогда при ширине снимаемого слоя — b и угле скалывания — w_1 найдем [1]: площадь



Фиг. 10.

$$AC = \frac{bt}{\sin w_1}$$

и

$$K' = T : \frac{bt}{\sin w_1} = \frac{T \cdot \sin w_1}{bt}.$$

При $P_1 = P$ и при угле между P_1 и AC равном

$$\mu = \alpha + \varphi + w_1 - 90^\circ \text{ [2]},$$

найдем:

$$T = P \sin(\alpha + \varphi + w_1) \qquad 2$$

$$K' = \frac{P}{bt} \cdot \sin(\alpha + \varphi + w_1) \cdot \sin w_1 \qquad 3$$

или наконец

$$K' = \frac{P}{2bt}[\cos(\alpha + \varphi) - \cos(\alpha + \varphi + 2w_1)]. \qquad 4$$

При Q постоянном напряжение K' будет максимальным при некотором значении $w_1 = w$.

w определится из условия:

$$\cos(\alpha + \varphi + 2w_1) = -1$$

или

$$w = 90^\circ - \frac{\alpha + \varphi}{2}.$$

При возрастании Q наступает скалывание очевидно по плоскости AB, т. е. при угле, равном w.

Откуда по уравнению (4) имеем:

$$K = \frac{P}{2bt}[\cos(\alpha + \varphi) + 1]$$

$$P = K \cdot bt \frac{2}{\cos(\alpha + \varphi) + 1}. \qquad 5$$

---

[1]) Брикс. Резание металлов.

[2]) $\angle AIO = \angle IOH - IAO = \varphi + 90^\circ - (180 - \alpha - w_1) = \alpha + \varphi + w_1 - 90^\circ$.

Работа, необходимая для осуществления резания, зависит от силы R, проекции P на направление движения резца; сама сила R равна тому усилию, которое должен произвести станок (суппорт станка) для снятия стружки.

Она равна:

$$R = P\cos(90^\circ - \alpha - \varphi) = P\sin(\alpha + \varphi); \qquad 6$$

таким образом

$$R = K \cdot bt \frac{2\sin(\alpha+\varphi)}{1+\cos(\alpha+\varphi)} = K \cdot bt \cdot 2\operatorname{tg}\frac{\alpha+\varphi}{2}. \qquad 7$$

Отнеся величину усилия R к единице площади сечения рассматриваемого материала, мы по данным проф. Тиме найдем так называемый коэфициент резания

$$q = \frac{R}{bt} = K \cdot 2\operatorname{tg}\frac{\alpha+\varphi}{2}. \qquad 8$$

Сумма углов $\alpha + \varphi$ всегда меньше 180°, поэтому сопротивление резанию возрастает с увеличением угла резания и угла трения, т. е. с увеличением коэфициента трения стружки о резец.

Величина сопротивления режущему усилию зависит главным образом от величины поперечного сечения стружки и состояния режущих кромок резца, но кроме того заметное влияние оказывает и форма поперечного сечения стружки, ибо вполне понятно, что сопротивление изгибу стружки будет резко различаться в зависимости от ее формы.

В общем можно считать, что усилие резания должно преодолеть сопротивления, возникающие в процессе снятия стружки, и сопротивле-

Таблица 1.

Для строгательных и долбежных резцов.

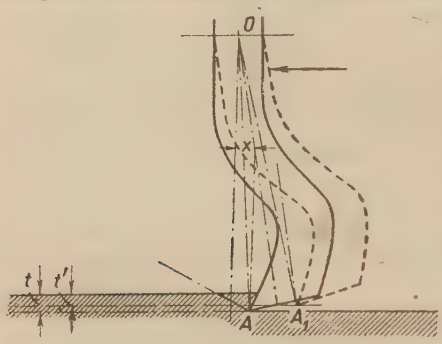
Обработка материала	Угол установ.—γ°		Угол заостр.—β°		Угол резан.—α°	
	Обдир.	Чистовой	Обдир.	Чистовой	Обдир.	Чистовой
Железо и мягкая сталь.	6—12°	2—6°	54—68°	62—70°	$<$ 90°	$<$ 90°
Чугун и твердая сталь	5—10°	2—5°	65—75°	75—85°	$<$ 90°	$<$ 90°
Твердое стальн. литье.	$2\frac{1}{2}$—6°	2—5°	82—87°	80—100°	$\leqq$ 90°	$\leqq$ 90°

ния, происходящие при сгибании ее. К первым относятся первоначальное сдавливание и осаживание материала, действительное срезывание его, ко вторым — сопротивление изгибу, сдвигание и трение при скольжении. Наконец большое значение имеют основные углы резца и способ его установки на суппорте.

Определение положения режущей кромки резца.

При работе резцом очень важно, чтобы он под влиянием сил, возникающих в процессе резания, не изменял своего положения относительно теоретического первоначального установа обрабатываемого предмета.

Помимо механических средств закрепления в патронах или суппортах достигнуть этого можно либо приданием резцу соответствующих размеров, либо выбором положения его режущих кромок по отношению к оси самого тела резца.



Фиг. 11.

В первом случае, чтобы резец не деформировался, ему пришлось бы придавать излишне большие размеры, что дорого и крайне неудобно, во втором случае при необходимых размерах выбираемой стали резцу придают соответствующую форму, и положение режущих кромок его получает определенное отношение к оси резца. Предположим, что резец имеет форму изогнутого бруса прямоугольного сечения и режущая кромка его отнесена несколько назад от оси симметрии, тогда он под действием рабочего давления стружки, в случае значительного плеча x несколько отогнется назад в положение $A'O$ и будет снимать уже не стружку t, а меньший слой, например t' (фиг. 11).

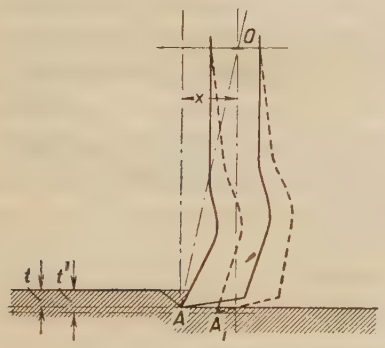
Как только давление стружки на него уменьшится, он снова выпрямится и будет опять, постепенно отгибаясь, забирать последовательно утоняющуюся стружку, пока снова по той же причине не выпрямится.

Полученная при таком резце работа представит собой волнообразную поверхность, происходящую от попеременно-возвратных качаний резца: он, как принято говорить, „пружинит“.

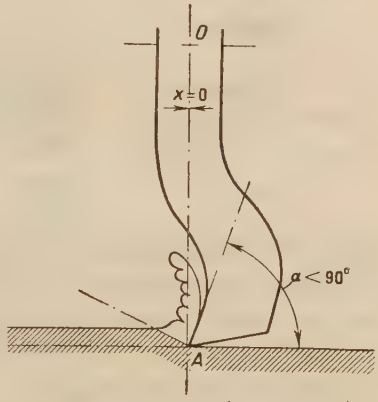
Если наоборот предположим, что лезвие резца A вынесено вперед за ось симметрии на величину x, то под влиянием давления материала резец отклонится к оси симметрии в положение $A'O$ и будет снимать стружку большей толщины t' (фиг. 12).

Но так как при этом усилие на резце все увеличивается, то резец либо сломается, либо если он достаточно прочен, то он вырвет из обрабатываемого изделия бесформенный кусок материала и при этом снова выпрямится, чтобы повторить опять то же самое.

При таких условиях резец будет, отгибаясь и выравниваясь, вырывать куски материала, образуя на обрабатываемом изделии грубую, шероховатую поверхность; такую работу резца называют „заеданием“.



Фиг. 12.

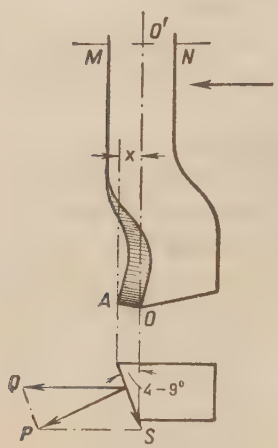


Фиг. 13.

Но заедание и пружинение мешает работе резца и в высшей степени затрудняет получение точных размеров изделия, поэтому, чтобы резец не пружинил и не заедал, что, естественно, получится при условии, когда плечо защемления будет наименьшим ($x = 0$), резцы нужно конструировать так, чтобы лезвие по возможности не выходило за пределы плоскости, проходящей через ось симметрии ни вперед, ни назад (фиг. 13).

В строгательных работах, где резец всегда необходимо выставлять на значительную длину из державки, где плечо AO всегда и неизбежно получается большим, положение лезвия относительно оси симметрии играет очень важную роль и если почему-либо не удается придать лезвию центрального положения, то все же относ его x нужно делать малым и за пределы контура тела резца не выходить. Так как пружинящие резцы меньше затупляются и притом нет особых опасений поломки, то лезвие предпочтительнее отно-

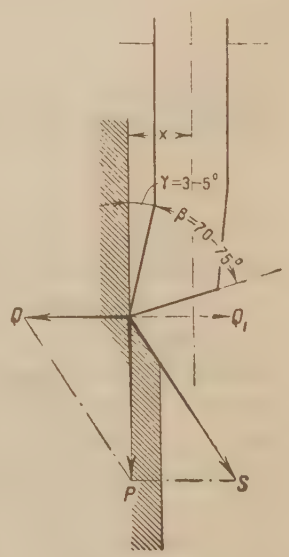
сить скорее назад, чем вперед, к чему между прочим часто прибегают сознательно, приготовляя специально пружинящие резцы, дающие очень чистую работу при весьма тонкой стружке.



Фиг. 14.

Если плоскость передней грани перпендикулярна к направлению снимаемого слоя, то образующаяся при этом стружка завивается в плоскую спираль, наматывается в клубок и производя большое усилие на резец мешает работе, так как она вся собирается прямо против передней грани: ее нужно отвести в сторону, дав возможность наблюдения за работой, и уменьшить усилие ее на резец. Чтобы осуществить это, переднюю грань резца скашивают несколько в сторону, и тогда рабочее усилие разлагается на силу Q, двигающую стружку вперед, и силу S, сдвигающую ее в сторону и завивающую в спиральную ленту (фиг. 14). Здесь режущим является ребро A пересечения передней и задней грани, и его уже нужно выносить немного вперед от оси OO', но все же A должно быть внутри контура сечения MN.

Рассмотренного типа резцы представляют собою особую группу строгательных резцов, — в них действующее усилие станка всегда приложено в направлении сжимаемой стружки на плече значительной длины. Ввиду дороговизны кузнечной работы и большого разнообразия типов токарных резцов, подобное положение лезвия у них в практике редко осуществляют, и правильность работы достигается обычно тем, что резец устанавливают в определенном положении относительно обрабатываемого изделия.



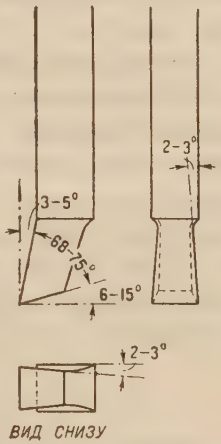
Фиг. 15.

К описанному типу нужно отнести и долбежные резцы, у которых направление рабочего усилия совпадает с направлением снимаемой стружки и осью симметрии резца. Здесь усилие приложено на коротком плече x, и потому резец испытывает продольный изгиб

(фиг. 15). Одновременно рабочее усилие разлагается на силу S, скалывающую и Q, прижимающую резец к материалу; равное и противоположное ей усилие Q_1 стремится отогнуть резец в сторону и тем уменьшить толщину снимаемой стружки.

Долбежные резцы кроме угла установа и угла заточки, характерных вообще для всех резцов, имеют еще боковые углы, дающие ему возможность, не будучи защемленным с боков, строгать узкие канавки шириной в переднее ребро.

Типичный долбежный резец имеет угол заточки в пределах 68—76°, угол установа 6—15° и боковые углы 2—3°. Здесь режущее ребро всегда вынесено несколько за контур тела резца (фиг. 16).



Фиг. 16.

Такая конструкция долбежного резца обычно не дает возможности получить правильную сплошную стружку и чаще всего обеспечивает стружку скалывания.

Токарные резцы.

1) Резцы по своему назначению разделяются на: черновые или обдирочные, — служащие для предварительной грубой обработки, чистовые или шлихтовочные, — служащие для снятия стружки начисто и тончайших широких стружек для окончательной отделки поверхностей.

2) По роду выполняемой работы резцы разделяются на: проходные, служащие для обточки поверхностей вдоль оси вращения или в плоскости перпендикулярной ей (лобовой); подрезные, служащие для подрезания уступов под прямым или острым углом к основному направлению от точки; отрезные — для отрезания материала под прямым углом к оси вращения; прорезные — для образования узких канавок; расточные — для расточки каналов и отверстий в направлении оси вращения, и наконец специальные — для разных специальных работ (для нарезки резьбы, червяков и фасонной работы).

3) По способу изготовления они распадаются на: кованые, получающие свою форму путем отковки их в горячем состоянии из полосы или прута; на точеные, форма кото-

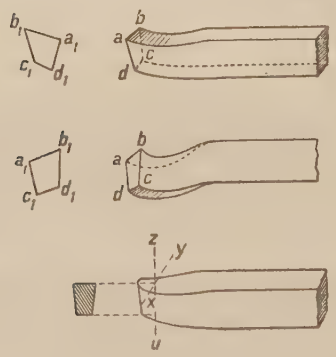
рых получается обточкою, шлифовкою или фрезеровкою в холодном состоянии из куска; на наварные, т. е. приготовленные из обыкновенной мартеновской стали с наваркою кусочка быстрорежущей стали лишь для образования лезвия.

4) По форме тела резцы распадаются на: обыкновенные, приготовленные из прямоугольного, квадратного, полосового или круглого стержня; круглые (дисковые), т. е. выточенные из куска в виде шайбы, на боковой поверхности коих делается обыкновенно фасонный профиль и лезвие получается путем вырезания части такой шайбы; пружинные, приготовленные так, что они во время работы могут пружинить; ножевидные, имеющие форму плоского ножа и работающие в специальных условиях с оправкой.

Обдирочные резцы.

Обдирочные или черновые резцы изготовляются преимущественно поковкою их из прямоугольной стали, их готовят также навариванием полоски быстрорежущей стали на простую стальную державку или наконец просто заточкою конца стального профильного бруска.

Ввиду того, что от обдирочного резца требуется главным образом не чистота работы, а легкость снятия большого количества металла в единицу времени, угол



Фиг. 17.

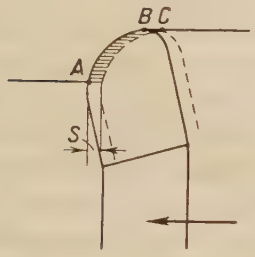
Фиг. 18.

установа и угол заострения у них делается обычно на отогнутом в направлении оси обрабатываемого изделия конце, почему они могут быть правыми и левыми (фиг. 17).

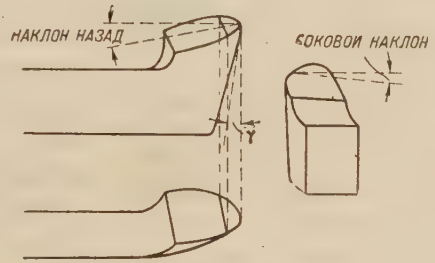
Однако от обдирочного резца нельзя не требовать также и чистоты обрабатываемой поверхности и особенно того, чтобы он был стоек и не быстро затуплялся; поэтому его лезвию иногда придают не остроконечную, а закругленную форму, это так называемые резцы Тейлора (фиг. 18).

Резец такого профиля снимает стружку в форме полускобки,— толстую снаружи и сходящую вглубь „на-нет“, т. е. как бы снятую в два резца — на протяжении *AB* обдирочным, а на протяжении *BC* чистовым резцом.

В соответствии с профилем стружки нагрузка на лезвие резца от вершины его *C*, где она минимальная, возрастает к *A*, и в силу этого самая главная часть его *C* изнашивается медленнее, — также и в отношении дрожания такой резец находится в лучших условиях (фиг. 19).



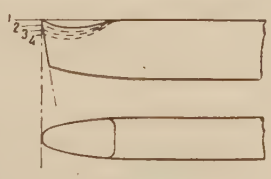
Фиг. 19.



Фиг. 20.

Для большей стойкости и лучшей заточки такие резцы получают при отковке особую форму головки, так что передняя грань ее получает наклон вбок и назад (фиг. 20).

Такое так называемое положительное возвышение режущей кромки, предложенное Тейлором, теперь более не употребляется, так как способствует „заеданию“ резца и ухудшает условия отхода стружки; при положительном возвышении стружка перегибается около своей длинной стороны, при отрицательном — около короткой. Поэтому при положительном возвышении сопротивление изгибу больше и стружка не может хорошо сбегать.

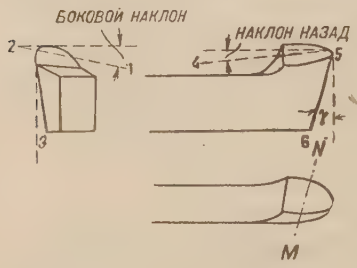


Фиг. 21.

Так как обдирочные резцы приготовляются чаще всего поковкой их из полосы, а кузнечные работы вызывают и наибольшие расходы, то указанное выше обстоятельство играет в практике весьма существенную роль. Резцы типа, изображенного на фиг. 17, дешевы и просты в поковке, но при повторных заточках головка их очень быстро ослабевает и потому их приходится снова перековывать или просто бросать в лом, не использовавши должным образом еще значительного куска материала (фиг. 21).

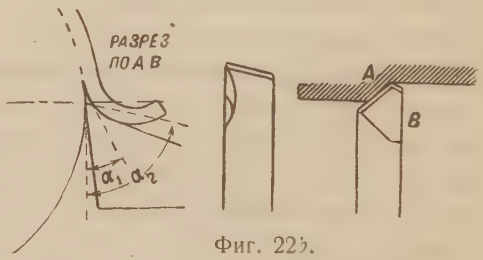
Резцы типа фиг. 18 и 20 требуют напротив более тщательной и дорогой кузнечной работы: в них вся передняя часть — головка — высаживается под молотом и значительно приподнимается над верхней поверхностью стержня резца (фиг. 22 *а*).

Затачиваются они путем: 1) бокового наклона, тогда угол резания получается между гранями $\overline{1,2}$ — $\overline{2,3}$; 2) путем наклонения верхней грани назад и тогда угол резания получается между гранями $\overline{4,5}$ — $\overline{5,6}$; 3) одновременным наклонением верхней грани назад и набок, причем угол резания получается в плоскости сечения *MN*, нормального к очертанию лезвия. При заточке по третьему способу нужно боковой наклон делать больше чем наклон назад, — это обстоятельство обеспечивает резцу большее число заточек, дает лучший сход для стружки, значительно улучшая условия подачи резца.



Фиг. 22*а*.

Вообще заточка тейлоровских резцов с дугообразной режущей кромкой значительно труднее заточки резцов с прямолинейными кромками. В отношении же условий резания криволинейная кромка дает лишь незначительные преимущества. Все эти соображения заставили почти повсеместно вывести из употребления резцы Тейлора.



Фиг. 22*б*.

Излишне большие значения углов наклона назад в значительной степени уменьшают все эти преимущества. Чтобы сопротивление резанию получилось по возможности малым, у токарных резцов углы α — резания и β — заточки необходимо делать поменьше, наоборот угол γ — установа желательно увеличивать. В интересах увеличения сопротивляемости лезвия углы α и β наоборот нужно увеличивать, а γ — по возможности уменьшать.

Смотря по тому, какой из факторов в данном случае играет бо́льшую роль, сообразно с ним и назначают углы. Многолетний опыт работы в машиностроении привел нас в среднем к нижеследующим предельным значениям углов, применение коих для токар-

ных резцов давало практически вполне удовлетворительные результаты:

Таблица 2.

Название материалов	γ°	β°	α°
Стальное литье, закаленный чугун . . .	3— 7°	85—87°	90—92°
Мягкая сталь, железо	3—12°	52—75°	75—82°
Чугун серый, твердая сталь	3—10°	62—85°	72—88°
Бронза	3—12°	56 82°	70—85°
Латунь	3 15°	65—85°	75—90°

Особняком стоит, предложенный в последнее время, резец Клопштока, представленный на фиг. 22 *b*. Основная особенность резца Клопштока — узкая фаска, проходящая по всей длине режущей кромки и достигающая при наиболее сильных резцах ширины 1 *мм*. Эта фаска образует угол резания в 90° или около этого.

Непосредственно за этой фаской следует довольно круто спускающееся углубление, дающее исключительно хорошие условия сбегания стружки. Резцы Клопштока предназначены для тяжелой обдирки и наряду со стойкостью, соответствующей резцам с большим углом резания, работают с давлением резания, соответствующим резцам с малым углом резания. Благодаря этому стойкость резца Клопштока превышает таковую обыкновенного резца на 30 % при прочих равных условиях.

Уменьшение сопротивления резания сказывается хотя бы в том, что стружки в 20 и более *мм*² сбегают с резца Клопштока почти без побежалого цвета, тогда как при обыкновенном резце они имеют уже темно-синий побежалый цвет.

Как уже раньше упоминалось, сопротивление резанию приблизительно пропорционально площади поперечного сечения стружки и зависит от углов α и γ, от радиуса закругления лезвия и почти не зависит от скорости резания v.

Если обозначим через:

K_z — сопротивление резанию (коэфициент резания) в *кг/мм*²; K_z — сопротивление разрыву в *кг/мм*²; f — поперечное сечение стружки в *мм*²; v — скорость резания в *мм/мин*; g — вес 1 *дм*³

материала в *кг* и N — потребная мощность в PS, то сопротивление резанию в *кг* будет:

$$R = f \cdot K_s. \qquad 9$$

$$N = \frac{R \cdot v}{75 \cdot 60} = \frac{f \cdot K_s \cdot v}{75 \cdot 60}. \qquad 10$$

Если с приближением принять, что $K_s = \text{const.}$, то сопротивление резанию на 1 *мм*² сечения стружки в среднем равно:

для чугуна — 4,5—5,5 $K_z = 70—140$ *кг/мм*²;
„ мягкой стали и железа — 2,5—3,2 $K_z = 100—150$ *кг/мм*²;
„ твердой и инструментальной стали — 2,5—3,2 $K_z = 150 — 240$ *кг/мм*²;
для бронзы и латуни = 60—100 *кг/мм*².

Вес стружки, снимаемой за 1 час на 1 PS получается в *кг*:

$$G = \frac{f \cdot v \cdot g \cdot 60}{1000}. \qquad 11$$

Дальнейшие исследования показали, что коэфициент K_s для одного и того же материала нельзя считать величиной постоянною. По опытам проф. Фридриха оно зависит от поперечного сечения стружки и от поверхности ее отделения. В уравнении Фридриха:

$$K_s = K + \frac{W}{\sqrt{f}}. \qquad 12$$

K обозначает сопротивление материала разрыву на 1 *мм*² и W — работу сопротивления на поверхности отделения в 1 *мм*².

Скорость резания при этом Фридрих нашел равной

$$v = \frac{e}{W + K\sqrt{f}}, \qquad 13$$

где e является постоянной величиной, различной для разных материалов.

Из опытов Тейлора (Fr. Taylor) следует, что удельное сопротивление резанию имеет меньшее значение при большей толщине стружки, т. е. при большей подаче. Удельное сопротивление,

зависящее от глубины резания и подачи, он вывел в следующем виде:

$$K_s = 88 \frac{t^{\frac{14}{15}} \cdot s^{\frac{3}{4}}}{t \cdot s} \text{ — для мягкого чугуна.} \qquad 14$$

$$K_s = 138 \frac{t^{\frac{14}{15}} \cdot s^{\frac{3}{4}}}{t \cdot s} \text{ — для твердого чугуна.} \qquad 15$$

$$K_s = 200 \frac{t^{\frac{14}{15}}}{S} \text{ — для стали.} \qquad 16$$

Зависимости Тейлора, выведенные из большого числа опытов, несколько расходятся в значении K_s со значениями, получаемыми по формулам Фридриха, равно как не согласуются и с другими более поздними данными.

Из вышеприведенного заключаем, что сопротивление резанию зависит от твердости, прочности и вязкости металла, от величины поперечного сечения стружки, от формы этого сечения, от характера и полезной длины лезвия и от углов резания, заточки и установа.

Так для обдирки машиноделочной стали при помощи резцов типа фиг. 22 углы играют весьма существенную роль и их следует выбирать из табл. 3, в которую сведены наивыгоднейшие, выработанные практикой углы.

Таблица 3.

Название углов	Обычная обдирка	Грубая обдирка
Угол установа γ°	5— 6°	4— 6°
Боковой наклон ϑ°	13—14°	8—10°
Задний наклон φ°	7— 8°	4,5— 6°
Угол заточки β°	67—69°	73—75°
Угол резания α°	73—75°	79—81°

Выбор профиля стали для резца.

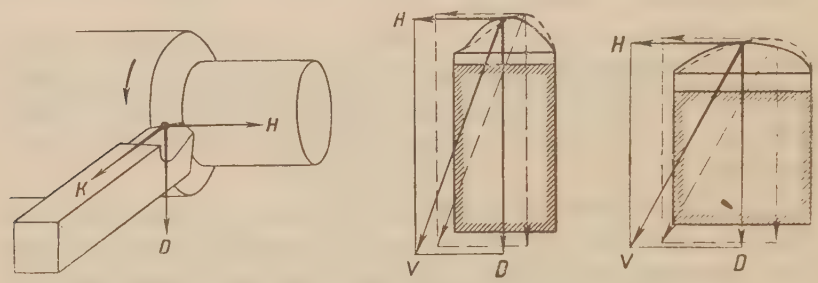
Форма профиля поперечного сечения стали, выбираемой для резца, обусловливается следующими обстоятельствами: 1) удобством поковки и образования лезвия, 2) назначением резца и 3) гарантией надлежащей прочности резца.

За исключением самых редких случаев, когда применяются круглые, овальные или многогранные профили стали, для приготовления резцов наиболее выгодным является прямоугольная и квадратная сталь.

Для обдирочных резцов выгоднее всего выбирать прямоугольное сечение стали с отношением $\frac{h}{b} = \frac{3}{2}$.

Резец во время работы при продольной обточке испытывает воздействие трех сил: D — вертикальной вниз от действия стружки, H — горизонтальной боковой от подачи (фиг. 23) и радиальной — K.

Ввиду того, что сила D всегда значительно больше H, выгодно для обдирочного резца увеличивать высоту профиля стали,



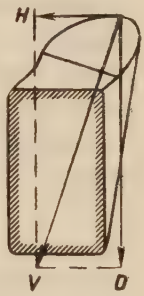
Фиг. 23. Фиг. 24. Фиг. 25.

так как сопротивление изгибу пропорционально квадрату высоты. При одинаковой прочности резец квадратного сечения оказывается много тяжелее прямоугольного, а значит и дороже его при одном и том же сорте стали. Возникающие во время работы резца усилия D и H складываются по закону параллелограма в одну силу V, которая стремится скрутить резец тем больше, чем больше она выходит за пределы контура профиля. Если возьмем обыкновенный резец прямоугольного сечения с прямою головкою, то результирующая вертикального и бокового давления будет всегда выходить за пределы сечения контура или будет сильно отклоняться в сторону от средины опоры, при таком распределении сил резец подвергается сильному вывертыванию (фиг. 24).

Резцы с квадратным профилем сечения дают более благоприятное расположение сил: здесь результирующая всегда остается в пределах контура сечения и ее легко можно рассчитать так, чтобы она проходила через середину опоры (фиг. 25).

Устойчивость резца обеспечивается в этом случае значительно лучше, вывертывание уже доведено до минимума.

Так как прямоугольное сечение с точки зрения веса затрачиваемого материала значительно экономичнее и безусловно лучше сопротивляется изгибу от силы D, то при изготовлении обдирочных резцов пользуются преимущественно прямоугольным профилем стали и, поднимая при отковке головку резца вверх, отгибают ее еще несколько в сторону (фиг. 26).



Фиг. 26.

При этом расположение сил в смысле вывертывания резца получается весьма благоприятным, а резец обладает всеми преимуществами дешевой и много-

Сечение стержней для целых и вставных резцов, державок и резцов с наварными пластинками				Поперечное сечение пластинок для наварки
Круглое	Квадратное	Прямоугольное		
d	b	$b \cdot h$		$h \cdot l$
		Ряд 1	Ряд 2	
4	4		4×8	
6	6	6×10	6×12	
8	8	8×12	8×15	
10	10	10×15	10×20	
12	12	12×18	12×25	4×12
15	15	15×25	15×30	4×15
(18)	(18)			
20	20	20×30	20×40	5×20
25	25	25×40	25×50	6×25
30	30	30×50	30×60	8×30
40	40	40×60		10×40
50	50			10×50
				12×60

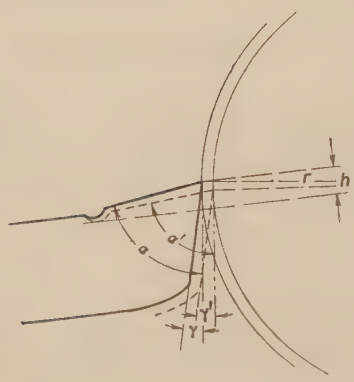
кратной заточки без перековки: он обладает меньшей поверхностью соприкосновения с кругом точила, лучше отводит теплоту, развивающуюся от нагревания при точке и резании, и требует значительно меньшего количества материала на изготовление по сравнению с квадратным профилем при той же степени прочности.

Германским комитетом нормализации (DIN) установлены нормальные размеры стали для резцов, приведенные в таблице на стр. 27.

Величин, заключенных в скобки, следует по возможности избегать. При стержнях иного профиля нужно брать высоты из этой таблицы, а ширину профиля можно в случае необходимости уменьшить. Все размеры представляют максимальные значения, так что допуски могут быть только в отрицательную сторону. Из двух рядов прямоугольных сечений наиболее употребительным при нормальных условиях обработки является ряд 1.

Положение резца при резании.

Один и тот же резец в зависимости от высоты положения его лезвия в отношении горизонтальной оси тела, проходящей через линию центров токарного станка, дает и различные углы резания и разные углы установа, а это в свою очередь характеризует условия резания и определяет характер работы резца.



Фиг. 27а.

Если при наружном обтачивании стержня лезвие стоит выше его оси на величину h, то угол α° резания и γ — установа уменьшаются (фиг. 27 *a*).

При резании материала под влиянием сопротивления его и давления стружки резец стремится отогнуться книзу, забирает при этом более толстую стружку и испытывает наклонность к излому; такой резец плохо режет материал, он обычно рубит и вырывает куски неправильной формы и, как принято говорить, работает „с заеданием“: поверхность получается нечистая. В случае расточки резец при тех же условиях, отгибаясь книзу, снимает уже стружку меньшей толщины, и как только усилие резца преодолеет сопротивление материала, он опять выпрямляется и снимает нормальную толщину металла (фиг. 27 *b*).

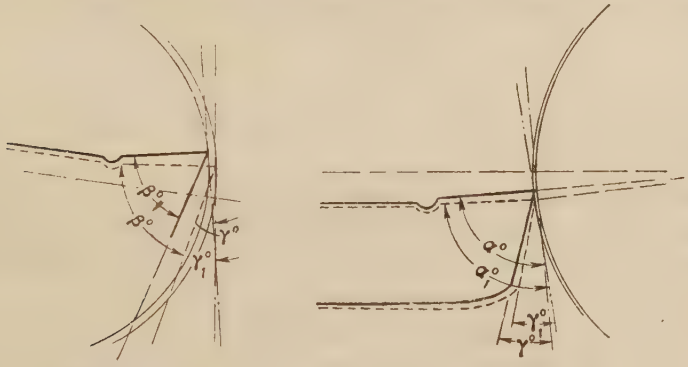
Такой резец во время работы постоянно эластично колеблется и дает не всегда круглую, но всегда гладкую и чистую поверхность: подобного рода работа объясняется „пружинением“ резца.

С отгибанием резца в случае фиг. 27 *a* углы α и γ возрастают, в случае же фиг. 27 *d* наоборот уменьшаются. Для грубой обдирки, где ни чистота поверхности, ни точность размеров роли не играют, при сильных резцах такой способ установки (фиг. 27 *a*) часто употребляют, однако подъем лезвия над центром не должен превышать:

$$h = (0{,}05 \div 0{,}1)\, d\ ^{1)}, \qquad 17$$

где d — диаметр обрабатываемого предмета.

При установке резца ниже центра (фиг. 27 *c*, *f*) он претерпевает изгиб, забирает более тонкую стружку, углы α и β, будучи



Фиг. 27 b. Фиг. 27 c.

больше чем в среднем положении, все время возрастают: резец, снимая тонкую стружку, работает легче, образует совершенно чистую поверхность. Когда давление на резец уменьшается, он может постепенно или быстро выпрямиться, но без срыва стружки. В этом случае резец дает скорее волнообразную поверхность со спокойными переходами — получается, как говорят, „пружинение резца“ (фиг. 27 *c*).

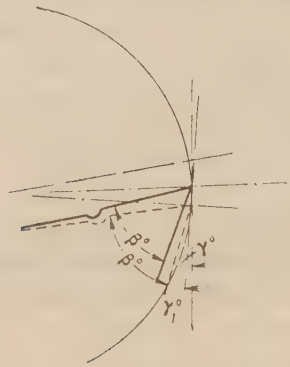
---

[1]) При $h = 0{,}1\, d$ угол ρ, получаемый направлением r в точку касания лезвия и горизонтальным диаметром, равняется:

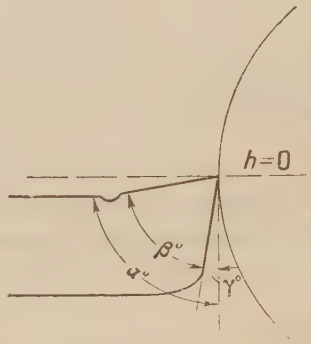
$$\sin\rho = \frac{h}{r} = \frac{0{,}1}{0{,}5} = 0{,}2, \quad \angle\rho = \backsim 12^\circ;$$

значит $\gamma \geqslant 12^\circ$, т. е. это значение h будет предельным. Точно также при $h = 0{,}05\, d$; $S = \backsim 6^\circ$ и $\gamma = \backsim 6^\circ$, т. е. $h = 0{,}05\, d$ будет низшим пределом.

В том же положении при внутренней расточке углы α и γ меньше средних значений и при отгибании резца продолжают убывать. Резец въедается в материал, нагрузка на него возрастает и он либо ломается, либо работает срывами неровных коротких кусков — получается при этом работа, которую называют „заеданием резца“ (фиг. 27 *d*).

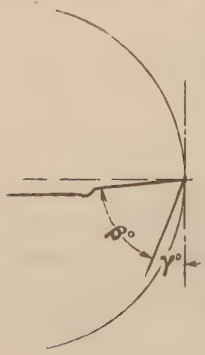


Фиг. 27 d.



Фиг. 27 e.

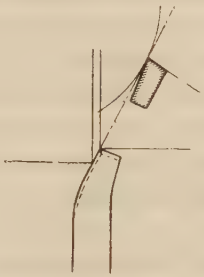
Способ установки, соответственно фиг. 27 *c*, вполне допустим и применяется при шлихтовке, когда с вязкого материала нужно снять тонкую и чистую стружку. Установка выше центра при наружном точении (фиг. 27 *a*) и ниже центра при внутренней расточке (фиг. 27 *d*) вызывает „заедание“ и допускается только при грубой обдирке; наоборот установка ниже центра при наружной обточке (фиг. 27 *c*) и выше центра при внутренней расточке (фиг. 27 *b*) вызывает „пружинение“ — допустимо при чистой окончательной отделке изделия. Совершенно правильную работу, особенно при употреблении профильного резца можно получить лишь при установке его в центре: повышение или понижение его лезвия всегда вызывает извращение профиля изделия, а также заедание или пружинение. Следовательно для устранений указанных недостатков резец нужно ставить строго в центре (фиг. 27 *e*, *f*), и если это почему-либо оказывается невозможным, то мы рекомендуем скорее его понижать, чем повышать (при расточке наоборот). Задний угол установа при этом для грубой обдирки берется равным $\gamma = 7 - 10°$, а при проходной работе $\gamma = 4 - 6°$.



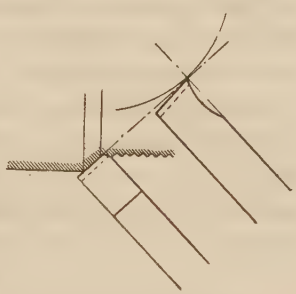
Фиг. 27 f.

Так как от обдирочных резцов требуется главным образом способность снимать стружку, то угол резания у них, не считаясь особенно с точностью получаемого диаметра, выбирается относительно меньше, чем при чистой работе. Для различных работ обдирочные резцы выбираются разной формы.

Фиг. 28.



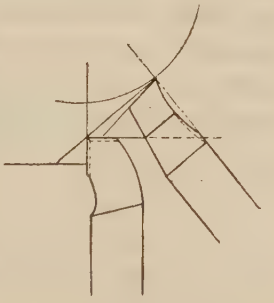
Фиг. 29.



Фиг. 30.

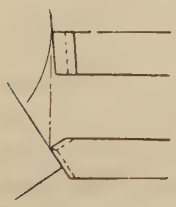
Резцы фиг. 28, 29, 31 и 34 изготовляются чаще всего путем ковки и для поддержания формы время от времени требуют перековки.

Резцы фиг. 30, 32, 33 и 35 изготовляются наоборот из цельного прямоугольного или квадратного бруска без всякой кузнечной работы только шлифовкою и употребляются как с суппорта, так и в державках для проходных работ и легкой обдирки.

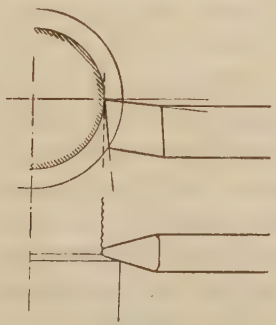


Фиг. 31.

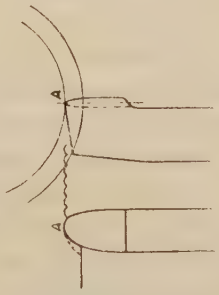
При специальных сталях кузнечную работу нужно производить с большою осторожностью, чтобы совершенно не испортить ее; если требуется снимать особенно твердую стружку, то в этом случае без ковки резца вообще не обойтись (фиг. 29).



Фиг. 32.



Фиг. 33.



Фиг. 34.

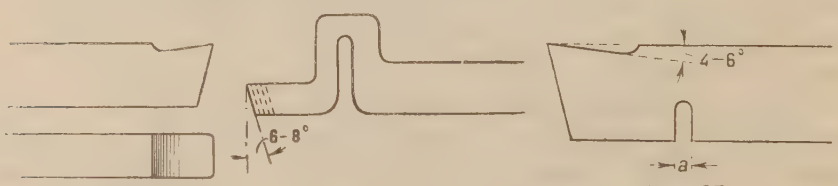
Резцы с косым лезвием (фиг. 28, 29, 30) дают при том же сечении стружки более тонкую, но широкую стружку, чем резцы фиг. 31 и 32; в первом случае стружка лучше завивается и легче отходит.

Если прямое положение (перпендикулярное к оси) резца необходимо по каким-либо причинам, то лезвие предпочтительнее делать скошенным (фиг. 33 и 34).

Резцы, заточенные по типу тейлоровского (фиг. 34), дают более гладкую поверхность, чем так называемые остроконечные. Вершина лезвия *A* у таких резцов особенно хорошо сохраняется, ибо на нее выпадает самая тонкая часть стружки.

Чистовые резцы.

Предназначаются для снятия тонкой, окончательной, дающей чистую поверхность, стружки, поэтому они могут иметь широкое лезвие. От чистового резца требуется, чтобы он мог выдерживать точные размеры изделия. Делая лезвие широким у чистового резца, подачу при шлихтовке берут всегда меньше ширины режущей кромки. Соответствующим поворотом большинства обдирочных резцов их можно использовать, как чистовые, нет нужды лишь в такой солидной конструкции. Типичный представитель чистовых резцов (фиг. 35) характеризуется простотою формы лезвия. Такие резцы готовят обычно шлифованием из куска.



Фиг. 35. Фиг. 36. Фиг. 37.

Квадратная форма сечения материала находит здесь широкое применение, однако прямоугольный профиль и в этом случае ($h = 1{,}25\,b$) следует предпочесть.

Пружинение резцов, отмеченное нами раньше (фиг. 11 и 27*c*), при чистовых резцах очень часто сознательно используется приготовлением специальных пружинящих резцов (фиг. 36).

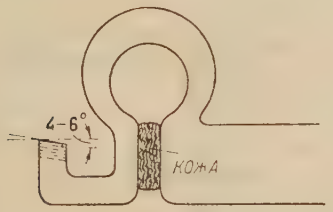
Такие резцы допускают снятие тончайших стружек и благодаря пружинению в твердых местах очень мало изнашиваются. Угол резания у них часто берут 90° или очень близкий к нему, в силу чего в этом случае получается правильная стружка скалывания. У резцов с прямою режущей кромкою заточки ведут параллельно

передней грани. Иногда пружинение достигается у чистового резца (фиг. 37) простым вырезом *а*, но такие резцы хуже пружинят и легче ломаются.

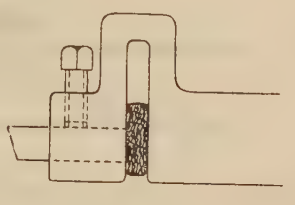
Нередко в случае обработки особо твердых и вязких материалов в дужку пружины резца защемляется кусочек кожи, которая, увеличивая его упругость, оставляет его еще достаточно эластичным (фиг. 38).

Если пружинный резец имеет фасонный профиль (фиг. 38), то для сохранения постоянного фасона профиля такие резцы необходимо затачивать параллельно верхней грани.

Очень часто в практике бывает необходимо иметь резец определенного профиля, с тем однако, чтобы по миновании в нем на-

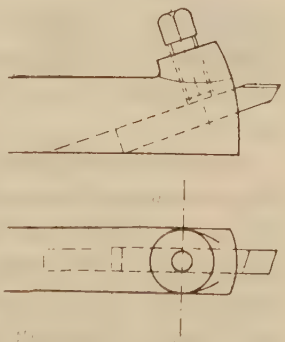


Фиг. 38.



Фиг. 39.

добности его можно было переточить на профиль иного вида, — тогда оказывается невыгодным ковать резцы из полосы и даже невыгодно затрачивать значительное количество быстрорежущей стали, в особенности если резец работает с малою нагрузкою. В этих случаях большое удобство представляют получившие широкое распространение так называемые вставные резцы. Вставные резцы состоят из двух частей: собственно резца (вставка), представляющего собой небольшой кусок прутика (квадратного, прямоугольного или круглого) быстрорежущей стали с заточенным лезвием и державки из простой мартеновской стали или железа, в соответствующем гнезде которой укрепляется такой резец (фиг. 39).



Фиг. 40.

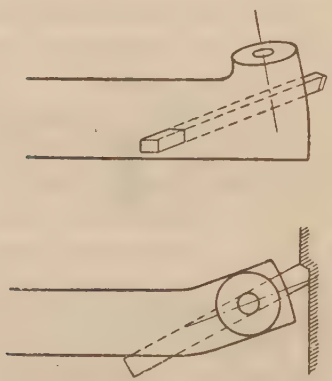
Представленная выше державка служит для сообщения резцу необходимого пружинения.

Очень часто в продаже встречаются державки с наклонным положением резца (фиг. 40). Они допускают удовлетворительный отвод

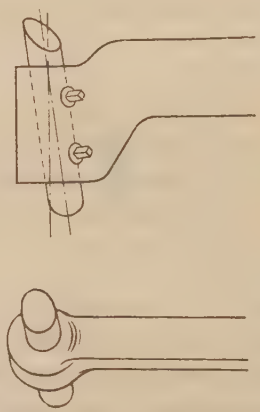
стружки, но благодаря наклонному положению резца он испытывает заедание, вредность которого для лезвия уже выяснена.

Еще чаще встречаются державки с резцом, наклонным к горизонту и скошенным вправо или влево (фиг. 41). Здесь отвод стружки получается еще более благоприятным, но к недостаткам предыдущей конструкции еще прибавляется то, что резец в державке расположен гранями не горизонтально, а наклонно, отчего пригонка, установка и заточка резца усложняются.

Вообще, как правило, лучшими державками являются такие, у которых резец располагается горизонтально, и если необходимо, чтобы он повертывался, то лучше всего закреплять его в поворот-



Фиг. 41.



Фиг. 42.

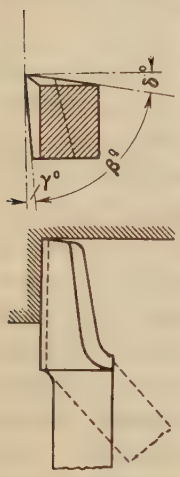
ном стержне, вставляемом в прорез державки. Для державок легко применима и сталь круглого сечения, которая вообще говоря для резцов употребляется редко и неохотно, кроме случаев специальных (фиг. 42).

Выгодность вставных резцов очевидна: они требуют очень мало дорого стоящей быстрорежущей стали и допускают возможность стачивать ее более чем на половину первоначальной длины, — они изготовляются без ковки из прутка, а потому быстро и дешево, — заточка их весьма проста и сводится к шлифованию одной или двух граней, задний угол у таких резцов постоянен и зависит лишь от направления места для него в державке. Резцы из круглой стали в державках (фиг. 42) простым поворачиванием превращаются в правый или левый, из продольного в поперечный и наконец требуют закалки всего лишь один раз.

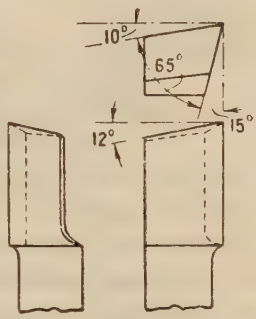
Резцы подрезные, прорезные и отрезные.

Подрезные резцы служат для обточки плоскостей перпендикулярно оси вращения. Во многих случаях плоские поверхности, перпендикулярные оси вращения, можно обрабатывать обыкновенными резцами (фиг. 29, 31 и 32).

Если нужно обработать кольцевую поверхность, то тогда обычно употребляют специальные прямые или кривые подрезные (боковые) резцы (фиг. 43, 44).



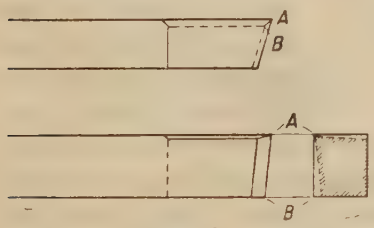
Фиг. 43.



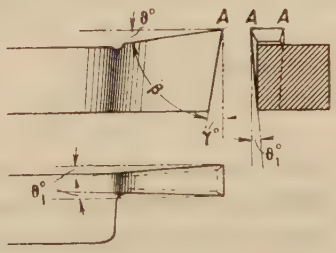
Фиг. 44.

Они приготовляются из прутка путем отковки их головки, затачивающейся по двум плоскостям. Для работы на автоматах очень часто у подрезных резцов основные рабочие углы выбирают по данным, приведенным на фиг. 44.

Для легких работ, особенно на револьверных станках, подрезные резцы чаще всего приготовляют без ковки простым шлифованием из квадратного куска стали, приспособляя их обычно для державки (фиг. 45).



Фиг. 45.



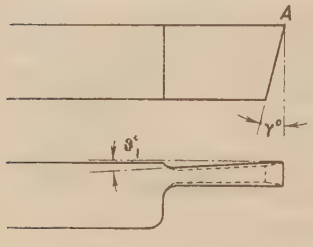
Фиг. 46.

Резцы, подобные предыдущим, но назначенные для узких пазов или для отрезывания материала, называют прорезными или отрезными (фиг. 46).

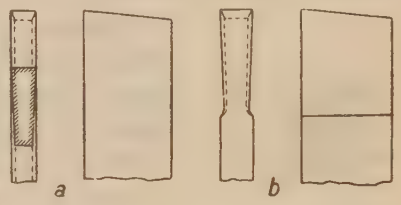
Для тяжелых токарных работ эти резцы приготовляют ковкою: концы их вытягивают в расплющенные лопатки.

Для средних и малых токарных станков они чаще всего готовятся из полосы, причем утонение конца достигается шлифовкою (фиг. 47).

Такие резцы всегда имеют лезвие AA', образованное верхнею и заднею гранями, параллельно оси вращения. Чтобы двугранный режущий угол не вызывал защемления и излишнего трения резца в прорезе, боковые грани его получают наклон (сужение) книзу под углом $\vartheta = 2 - 3^\circ$ и назад под углом $\vartheta = 1{,}5 - 2{,}5^\circ$.

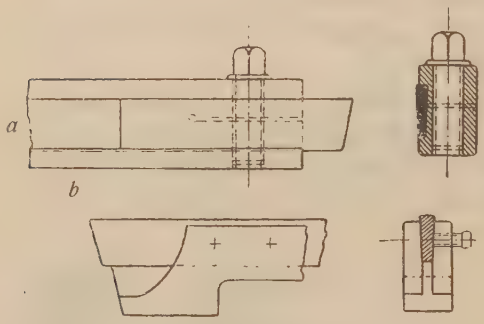


Фиг. 47.



Фиг. 48 *a, b.*

В целях дальнейшей экономии материала и работы отрезные, как и прорезные резцы в настоящее время приготовляют из специальной полосы стали прямоугольного или клиновидного сечения(фиг. 48 *a*, *b*).



Фиг. 49 *a*, *b*.

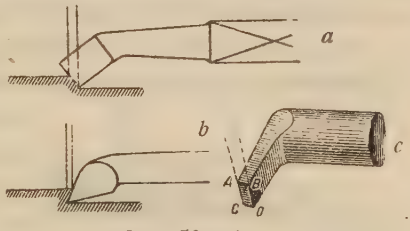
Разнообразные державки в значительной степени облегчают применение подобных резцов и дают возможность использовать для этой цели сравнительно небольшие куски материала (фиг. 49 *a*, *b*).

Многие такие державки запатентованы и весьма охотно применяются для небольших токарных станков, автоматов и особенно для револьверных станков. Кроме значительных удобств установки и смены резцов, такие державки заметно понижают стоимость изготовления резцов.

Резцы для внутренней расточки.

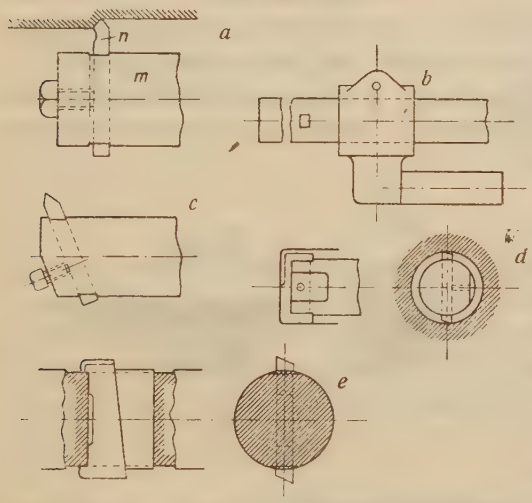
Резцы, имеющие целью обрабатывать каналы, отверстия и т. п., в большинстве случаев для токарных станков приготовляются в виде различных крючков выковыванием из соответствующей полосы инструментальной или быстрорежущей стали (фиг. 50 *a*, *b*, *c*).

Так как они должны входить в растачиваемое отверстие, то всегда получаются весьма длинными и тем более пружинят, чем длиннее канал и меньше его диаметр. Резец типа *a* быстро затупляется, снимая корку литья, резец *b* ее подламывает снизу, но благодаря заостренной форме у него худший отвод тепла. Чтобы удешевить изготовление крючкообразных резцов, прибегают к вставке их в державки: тогда нередко удается избежать ковочной работы и использовать короткие куски стали.



Фиг. 50 *a, b, c.*

Особенно часто к этому прибегают у горизонтально-сверлильных станков, где резец вставляется в особую борштангу или специальную расточную головку. Наиболее употребительные виды подобных державок для токарно-расточных и револьверных станков, защемляющие обычные резцы, представлены фиг. 51 *a, b, c, d, e.*



Фиг. 51 *a, b, c, d, e.*

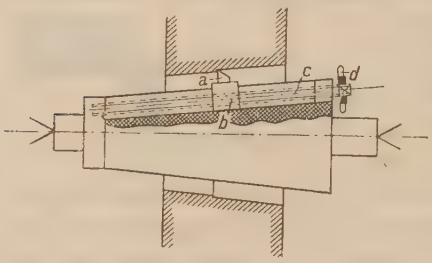
Защемление пластинчатых резцов для чистой расточки каналов, обточки донышек и кольцевых отверстий в торец и по цилиндру и пр. представляют фиг. *d, e.*

Для расточки конических сквозных отверстий на обыкновенных центровых токарных станках употребляют часто особую державку с приспособлением для подачи резца (фиг. 52).

Резец *a* закреплен в ходовой гайке *b*, посаженной на винт *c*. Если поворачивать звездочку *d*, то при вращении державки вместе с резцом на центрах станка резец будет получать подачу по винту, осуществляя расточку дыры по конусу. Такая державка служит для конусов только одной определенной коничности, в силу чего их нужно иметь несколько штук, что для небольших мастер-

ских дорого. Для расточки больших цилиндрических отверстий, требующих большой точности, на горизонтально-сверлильных станках, иногда и на больших токарных, употребляются особые державки (оправки) со специальными расточными головками, служащие для закрепления резцов (фиг. 53).

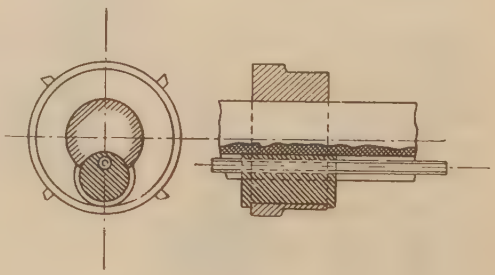
Здесь обыкновенные вставные резцы получают вращение вместе с головкою, а подача их вдоль оправки осуществляется при помощи ходового винта и ходовой гайки. Винт поворачивается помощью звездочки, храповичка и отводки. Количество всякого рода оправок, обслуживающих расточные резцы, чрезвычайно велико, — преимущества их заключаются не только в тех удобствах, которые они дают при работе, но и в тех удобствах и той выгоде, которая получается благодаря упрощению в изготовлении для них вставных резцов.



Фиг. 52.

При работе расточными резцами на их стойкость, продуктивность и чистоту работы имеет громадное влияние расположение лезвия резца в растачиваемой полости.

Пусть резец расположен при расточке так, что центр его O_1 лежит ниже диаметра OA, и он должен снимать стружку толщиной, равной δ (фиг. 54 *a*).

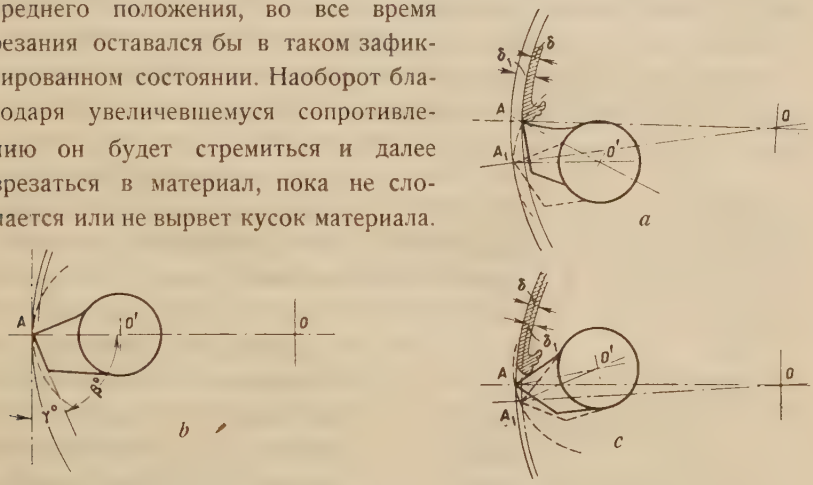

Фиг. 53.

Под давлением стружки лезвие его в этом случае будет отгибаться книзу в положение O_1A_1 и глубина резания будет уже новая $\delta_1 > \delta$: резец либо должен будет сломиться, либо будет отрывать стружку неправильными кусками: он будет работать с „заеданием“.

Если резец установить так, что O_1 лежит выше AO, то при условии, что лезвие отогнется в положение O_1A_1, он станет снимать стружку $\delta_1 < \delta$ (фиг. 54 *b*).

Так как толщина стружки уменьшается, то давление на резец скоро преодолеет сопротивление материала, резец выпрямится и будет снимать стружку толщиною $\delta < \delta$, и это будет продолжаться

до тех пор, пока лезвие не будет отогнуто встретившейся твердою частью материала. Резец при этих условиях не может сломаться, но он будет снимать волнообразную стружку: он будет пружинить. Соображения, даваемые *Гиплером*[1]) в отношении положения лезвия расточных резцов, нужно признать совершенно неправильными: резец, установленный выше центра, раз он отгибается, не может не заедать, и было бы крайне невероятным, чтобы он, отогнувшись до среднего положения, во все время резания оставался бы в таком зафиксированном состоянии. Наоборот благодаря увеличевшемуся сопротивлению он будет стремиться и далее врезаться в материал, пока не сломается или не вырвет кусок материала.



Фиг. 54 *a b c*.

Если хотят, чтобы резец не пружинил и не заедал, его нужно устанавливать так, чтобы центр резца O_1, центр растачиваемого канала O и лезвие A находились на одной прямой (фиг. 54 *c*).

Во всяком случае установка резца по первой схеме совершенно недопустима, и если трудно установить по третьей схеме, то уже лучше ставить резец так, чтобы O_1 было чуть-чуть выше OA_1.

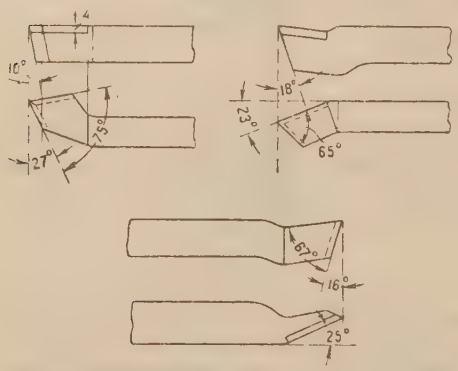
Наварные резцы.

Различного рода державки для вставных резцов, несмотря на большую экономию в стоимости изготовления резцов, сами по себе все же очень дороги, а кроме того они выходят весьма громоздкими, в особенности когда требуется вставлять в них резцы значительных профилей. При тяжелых работах закрепление резцов в державках оказывается не всегда надежным, и потому для таких работ они мало пригодны: в этих случаях самое тело резца при-

[1]) Hippler. Die Dreherei und ihre Werkzeuge. 1923 г.

готовляют из простой мартеновской или инструментальной стали, а режущую кромку (лезвие) получают наваркою из пластинки быстрорежущей стали.

Изготовление таких резцов ведется следующим образом: стальную державку тщательно выстрагивают или профрезеровывают точно по форме (так же предварительно обработанной) навариваемой пластинки, одновременно нагревают ее до температуры 980—1100° *C*, быстро очищают свариваемые поверхности стальными щетками и, посыпав сварочным[1]) порошком державку, накладывают на нее пластинку и слегка обжимают ударами на наковальне или под молотом. Затем державку с приставшею пластинкою снова нагревают до температуры 1250—1350° С и, прогрев хорошо обе части, быстро сжимают под молотом или прессом. Закалку получают немедленным замачиванием или лучше новым нагревом до температуры 1200° С и охлаждением в струе воздуха, в масле или растопленном сале. Сварку с большим успехом ведут также помощью сварочных аппаратов ацетиленом, блау-газом и особенно быстро и удачно при посредстве специальных электрических сварочных приборов. Умело наваренные резцы оказываются очень стойкими и легко выносят самую тяжелую обдирочную работу. Укрепление пластинки помощью ласточкиного хвоста и тем более на шпильке совершенно не требуется: чистая сварка держит прекрасно и в простом пазу.



Фиг. 55.

Для обдирочных резцов (фиг. 55, вверху) угол установа (задний) берут обычно в пределах от 10 до 12°, иногда же этот угол увеличивают до 18°.

Подрезные и прорезные резцы (фиг. 55, внизу) делают с наварною пластинкою сбоку и оправку загибают направо или налево, смотря по надобности. Резцы с наварными быстрорежущими пластинками начали применяться уже давно, но особенно большого распространения они достигли во время войны.

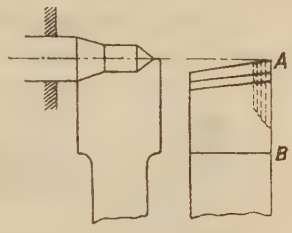
---

[1]) Сварочный порошок обычно состоит из 2 весовых частей буры и 1 весовой части стружек из-под напильника.

В силу плотного соединения пластинки с державкою (однородное соединение) эти резцы значительно лучше отводят теплоту нагрева, чем то имеет место у державок со вставными резцами.

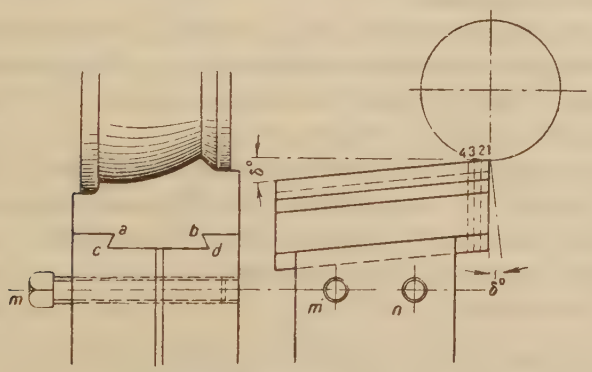
Фасонные резцы.

Для получения на токарном станке помощью обыкновенного резца тел вращения, имеющих сложную фасонную форму, требуется большое искусство токаря и кроме того особый „копир“ (лекало), служащий направлением для движения резца.



Фиг. 56.

Такая работа очень дорога и не дает достаточной уверенности в том, что все полученные изделия будут иметь совершенно одинаковый профиль и размеры. Резцы для обточки тел вращения, боковая поверхность коих имеет сложную форму, образуют особую группу резцов, носящих название „фасонных“: они обычно не получают движения вдоль оси вращения и выполняют работу с одного положения снятием широкой стружки по всему профилю сразу, — их движение (подача) перпендикулярно оси вращения. В зависимости от характера выполняемой работы эти резцы и устраиваются различно. Когда



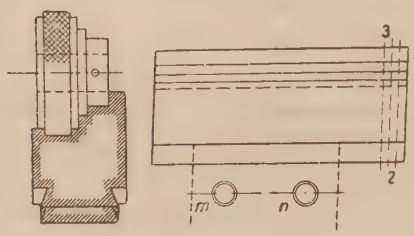
Фиг. 57.

требуется выполнить большое число одинаковых изделий, то из прямоугольной или квадратной стали по наружной их форме изготовляется обычный резец, лезвие которого (режущая кромка) полностью соответствует контуру обрабатываемого изделия (фиг. 56).

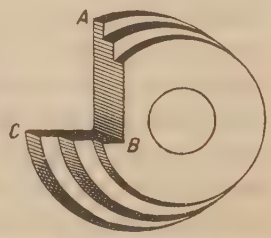
Такие резцы могут обеспечить изделию точный профиль лишь тогда, когда направление их режущей кромки AB совпадет с направлением диаметра изделия.

При заточке этих резцов плоскостями, параллельными верхней грани, их нужно каждый раз поднимать до первоначального положения. Резцы такого рода очень дороги, установка их трудна и благодаря тому, что они, быстро стачиваясь, влекут за собою значительную потерю быстрорежущей стали, их чаще всего делают в виде вставных в державку (фиг. 57 и 58).

Эти резцы, приготовленные из небольших кусков быстрорежущей стали, снабжаются направляющим выступом по всей длине,



Фиг. 58.



Фиг. 59.

имеющим в сечении форму ласточкина хвоста $abcd$, которою резец и крепится в державке.

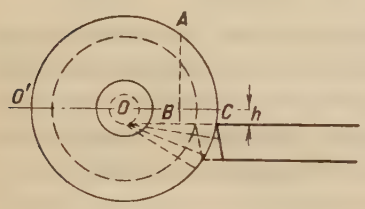
При стачивании таких резцов параллельными плоскостями 1, 2, 3, 4... высоту их положения в отношении к обрабатываемому изделию можно регулировать путем передвижения их в пазу при освобождении зажимных болтов m и n.

Угол резания у таких фасонных резцов в большинстве случаев делают равным 90° при заднем угле установа $\vartheta = 10—15°$, — впрочем в практике иногда от этого отступают, делая верхнюю грань резца не горизонтальной, а несколько наклонной так, что угол резания получается 85—87°. Подобная заточка не рекомендуется; она хотя и улучшает условия резания, зато искажает профиль изделия. Приготовление плоских фасонных резцов составляет сложную и дорогую работу, и там, где ведется массовая фабрикация однородных изделий, такие резцы представляют много излишних хлопот.

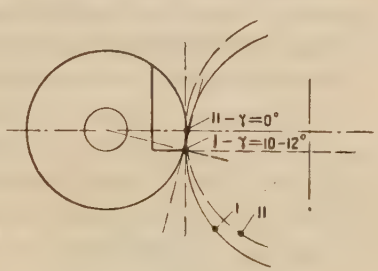
Значительно проще в изготовлении и несравненно долговечнее оказываются резцы, представляющие особую разновидность предыдущих, так называемые круглые фасонные резцы. Они изготовляются

просто обточкою на токарном станке и лишь окончательно отделываются специальными плоскими резцами: одним оригинальным плоским резцом можно отделать множество совершенно одинаковых резцов (фиг. 59).

Лезвие у такого круглого резца образуется вырезом части диска ABC. Чтобы плоский оригинальный резец не изнашивался при отделке круглого резца, лезвие его нужно ставить несколько ниже центра круглого и снимать самый тонкий слой металла: вырез или



Фиг. 60.



Фиг. 61.

лезвие круглого резца должен точно совпадать с точкою соприкосновения лезвия C оригинала, а верхняя грань должна образовать прямую продолжения верхней же грани оригинала (фиг. 60).

Если вырез сделать, например, по OO_1, то полученный профиль круглого резца будет отличаться от оригинала и при работе даст изделие извращенного профиля. Угол резания и у круглых резцов делается равным 90°, а вырез (верхняя грань его) для образования лезвия всегда сносится на некоторую величину h ниже горизонтального диаметра OO_1. Это делается для того, чтобы при угле резания α — 90° получался необходимый угол установа γ, ибо при положении резца, имеющего вырез через центр, в центре же обрабатываемого изделия этого угла не получается, — резец будет тереть своим затылком и, нагреваясь, быстро затупляться (фиг. 61).

Таблица 4.

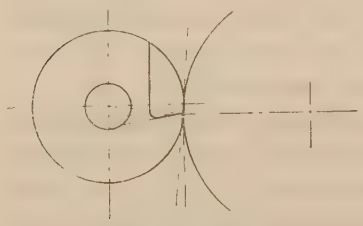
Для круглого резца ⌀ 60 *мм*							
h	1	2	3	4	5	6	8
$\gamma°$	1°50′	3°50′	6°	7°40′	9°40′	12°	15°30′
$\alpha°$	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°

При износе и затуплении лезвия круглые резцы затачиваются по плоскостям, касательным к окружности, описанной из центра радиусом h, как это показанно пунктиром на фиг. 60.

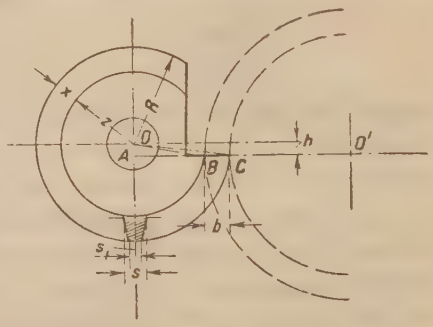
Как и для плоских резцов, круглые резцы на практике иногда делают со скошенной верхней гранью выреза (фиг. 62).

Это имеет некоторый смысл для облегчения схода стружки лишь при резании твердых и вязких материалов, — угол резания α° при этом получается равным $\beta + \gamma < 90^\circ$, и при общих равных условиях лезвие такого резца выходит всегда слабее, чем при горизонтальном положении верхней грани.

Итак для того, чтобы оригинальным резцом, представляющим точную копию профиля изделия, изготовить соответственно правильный круглый резец, его нужно обточить при таком положении, когда бы лезвие оригинального резца проходило через центр круглого резца, или лезвие нужно снести книзу на величину h и впоследствии в этом месте сделать вырез круглого резца.



Фиг. 62.



Фиг. 63.

Пусть круглый резец O имеет два уступа, образованных радиусом R и r с вырезом, снесенным от центра книзу на h; тогда изменения, полученные у профиля благодаря сносу выреза, должны быть учтены при самом изготовлении резца. Если задаться значениями R, b и h, то, как видно из чертежа (фиг. 63), сокращенный профиль x легко найдется вычислением.

$$AC = \sqrt{R^2 - h^2}, \quad AB = \sqrt{r^2 - h^2}, \quad BC = AC - AB.$$

Откуда

$$BC = \sqrt{R^2 - h^2} - \sqrt{r^2 - h^2} = b.$$

Решая это уравнение относительно r, найдем:

$$r = \sqrt{(\sqrt{R^2 - h^2} - b')^2 + h^2}.$$

При

$$x = R - r,$$

значения последнего найдем по:

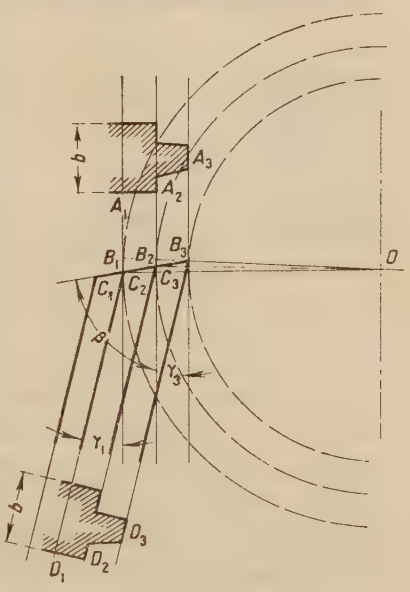
$$x = R - \sqrt{(\sqrt{R^2 - h^2} - b)^2 + h^2}. \qquad 18$$

Таким образом для изготовления круглого резца сокращенная высота профиля x найдена.

Ширина профиля по верхней и нижней его окружности S_1 и S остаются неизменными. В зависимости от положения режущей кромки и направления верхней грани фасонного резца профили изделия и профиль режущего лезвия не всегда совпадают.

Искомый профиль плоского фасонного резца, служащего для выработки круглого резца по профилю данного изделия, определяется лучше и проще всего графическим способом по следующему чертежу (фиг. 64).

Проектируя точки A_1A_2 и A_3 данного профиля на направление B_1O в точки B_1B_2 и B_3 и перенося их дугами B_1C_1, B_2C_2 и B_3C_3 на проекцию верхней грани C_1C_3, проектированием полученных точек C_1C_2 и C_3 в D_1D_2 и D_3 найдем профиль резца; ширина его b, как и ширина отдельных уступов, остается при этом совершенно неизменной.



Фиг. 64.

Если положение лезвия остается прежним, а угол $\delta = 0$, т. е. угол резания равняется 90°, то профиль резца и профиль изделия полностью совпадают.

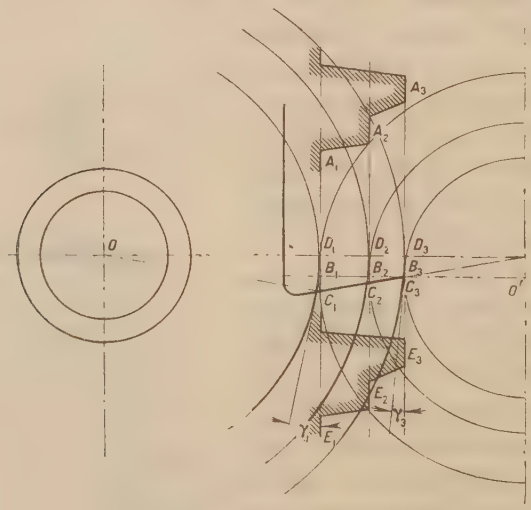
При косо поставленной верхней грани резца для каждой его точки C_1C_2 и C_3 задний угол установа $\gamma_1\gamma_2$ и γ_3 и угол резания $\alpha_1 = \beta + \gamma_1$; $\alpha_2 = \beta + \gamma_2$ и $\alpha_3 = \beta + \gamma_3$ будут меняться, убывая с увеличением диаметра, на котором находится данная режущая точка.

При установке такого резца нужно иметь в виду, чтобы угол резания у наружной его точки C_3 получался еще достаточно боль-

шим. Когда верхняя грань находится в центре и горизонтальна, т. е. служит продолжением среднего диаметра изделия, тогда углы резания и установа для всех ее режущих точек остаются постоянными, и при вязких и твердых материалах сход стружки получается несколько хуже, чем при скошенном положении: получается стружка скалывания, а не сплошная.

В зависимости от положения резца и направления верхней грани выреза профиль режущей кромки у круглых резцов по тем же причинам, как и у плоских, не всегда совпадает с профилем изделия (фиг. 65).

Точно так же и здесь изменяется угол установа и угол резания для отдельных точек C_1C_2 и C_3, будет иметь свой минимум у C_3,



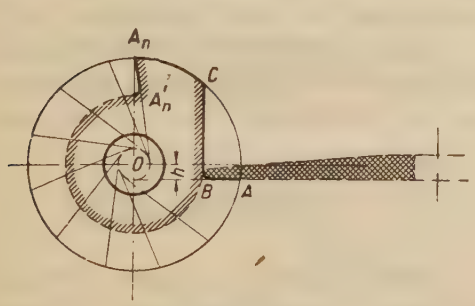
Фиг. 65.

независимо от того, будет ли верхняя грань скошена или горизонтальна, если центр резца O выше центра изделия O_1.

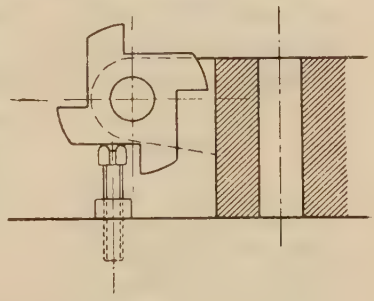
Как уже упомянуто выше, заточка круглых резцов с прямой горизонтальной верхней гранью производится шлифовкою по плоскостям, касательным к окружности радиуса h, или при скошенной грани по плоскостям, касательным к окружности радиуса, где h_1 есть длина перпендикуляра, опущенного из центра на направление скоса. Заточка таких резцов совершается очень много раз до тех пор, пока ширина остающегося выступа A и C не получится уже очень малой, т. е. пока прочность выступа A и C еще допускает дальнейшую работу (фиг. 66).

После заточки новое режущее ребро A_n и A_n' поворачивается в первоначальное положение AB. Чтобы избежать частых заточек фасонного резца, его иногда сразу вырезают в четырех местах, и лишь когда все режущие кромки затупятся, их снова одновременно затачивают. Устанавливают такой резец на опору, строго фиксирующую положение лезвия (фиг. 67).

Такая заточка однако крайне не экономична, многогранными вырезами в значительной степени ослабляется дисковый резец и чрезвычайно сокращается способность его к многократным переточкам благодаря тому, что большая часть материала потеряна в вырезах при образовании лезвий. Чтобы круглый (дисковый) фасонный резец вполне удовлетворил всем требованиям хорошего



Фиг. 66.



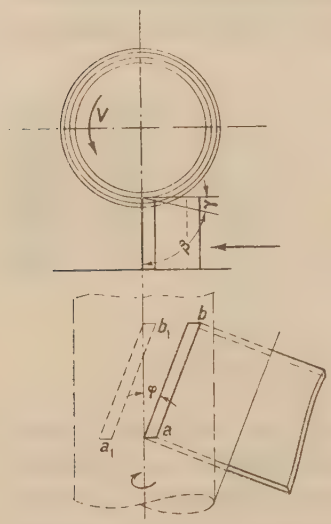
Фиг. 67.

инструмента, при его изготовлении должны быть приняты все меры предосторожности как в процессе его изготовления, так и при закалке. Совершенно точно выточенный резец снабжается на боковых сторонах либо спиральными, либо радиальными рисками, удерживающими его от провертывания в державке. Вырез для образования лезвия делается обыкновенно после калки удалением части материала при помощи наждачного или корундового кружка на шлифовальном станке.

Эту работу нужно производить под сильною струей воды, чтобы избежать нагрева, могущего вызвать отпуск стали. Вырезы, изготовляемые у круглых резцов в сыром состоянии до закалки, служат в большинстве случаев причиною порчи резцов от поводки их при закалочном нагреве. У тонких резцов предварительное приготовление вырезов до закалки всегда и неизбежно влечет за собою сильную поводку, и потому совершенно недопустимо, так как профиль резца при этом сильно искажается и исправить его после уже нет никакой возможности. Очень широкие резцы иногда

делают составными из нескольких частей, соответственно простейшим профилям.

К числу фасонных резцов нужно отнести и пластинчатые резцы, изготовляемые из обрезков бытрорежущей стали в виде тонких пластинок, вырезанных по профилю наподобие лекала. Такие резцы, имеющие требуемый фасонный профиль, устанавливаются на суппорте под изделием так, чтобы направление лезвия с направлением оси вращения составляло угол φ, причем резец при работе перемещается параллельно самому себе в направлении, перпендикулярном к оси вращения изделия, и пройдя своею точкой b через проекцию оси вращения на горизонтальную плоскость, резец снимает весь необходимый слой профиля с изделия (фиг. 68).



Фиг. 68.

Приготовление таких резцов довольно затруднительно,—их профиль получается всегда удлиненным и находится из соотношения:

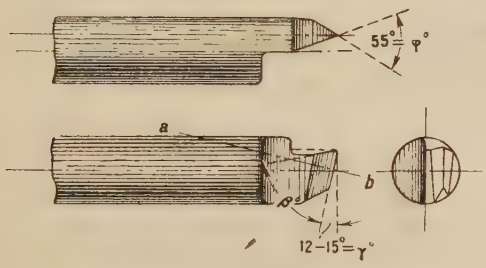
$$ab = \frac{cb'}{CS\,\varphi} \qquad 19$$

Угол установа φ в зависимости от материала берется от 30 до 45°, угол установа, образованный касательной с заднею гранью резца $\gamma = 2^1/_2 - 5°$ и угол резания $\alpha°$ получается переменным: он равен для всех режущих точек лезвия 90° лишь в среднем положении, т. е. на проекции оси вращения, убывая постепенно при выходе его из этого положения.

Такой резец работает постоянно лишь короткою частью своего лезвия, причем максимальный слой металла он снимает, когда режущая кромка проходит через проекцию оси вращения. Эти резцы получили распространение в Германии и в России во время войны, когда экономия быстрорежущей стали достигла своего наивысшего значения; они хорошо работают по латуни, алюминию и сплавам, но сложность установа и приготовления не дает возможности получить им широкого распространения. Мы применяем их со значительным успехом на Невлянском и Московском трубочных заводах, где они часто по длине изготовлялись из отдельных кусков.

Резцы для нарезки резьбы.

По характеру своей работы эти резцы могут быть отнесены к группе фасонных резцов; по конструкции же они напоминают собой прорезные и отрезные резцы и разделяются на: цельные, изготовляемые выковыванием или шлифованием из прутка, вставные, приготовляемые в виде коротких зубцов из кусочков стали для укрепления в державки, круглые, подобно фиг. 63, и наконец гребенки, получаемые путем выработки режущих профилей при помощи фрезеровки их из куска. По форме профиля соответственно системам резьбы они разделяются на: резцы с треугольным профилем для нарезания нормальной треугольной резьбы по Витворту, Селлерсу и т. п., резцы с прямоугольным или ленточным профилем, резцы с трапециодальным профилем и наконец резцы со специальными профилями.



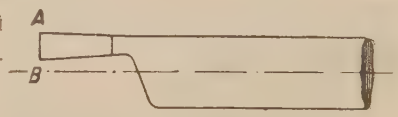
Фиг. 69.

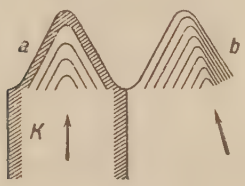
В случае обыкновенной треугольной резьбы очертание лезвия делается по форме профиля треугольной резьбы с углом φ при вершине 55—60°, смотря по системе нарезки (фиг. 69).

Чтобы такие резцы могли точно осуществлять профиль резьбы, верхняя грань их (передняя) должна находиться на высоте центров и быть горизонтальной, ибо при всяком другом ее положении профиль нарезки получается искаженным, поэтому и самую заточку нужно производить плоскостями, параллельными передней грани. В плоскости разреза *ab*, нормальной к ребру задней грани, получается угол φ_1 больший чем угол φ и тем больший, чем больше угол γ.

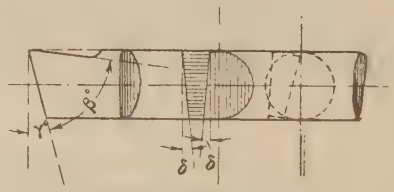
Задний угол установа γ берут обыкновенно равным 12—15°, в силу чего при углублении резца в деталь ни защемления, ни трения на боковых сторонах не возникает. Угол резания при этом получается равным 90°, если передняя грань горизонтальна, и несколько менее 90°, когда ей придают уклон назад, как это показано пунктиром. Такой уклон, приблизительно в $2^1/_2$—4°, несколько улучшает сход стружки и облегчает работу резания, но зато лезвие становится слабее, скорее затупляется и искажает профиль.

Искажение профиля при угле 4° настолько незначительно, что его практически можно не принимать во внимание. Оконечность резца согласно системам нарезок срезается на определенную величину на плоскость или скругляется по окружности, причем последняя имеет место лишь в сечениях, параллельных передней грани, в сечениях же *ab* она уже превращается в дугу эллипса. Так как числу ниток, приходящихся на 1″ или на 1 *см* длины стержня, соответствует, независимо от диаметра нарезаемого стержня, определенная глубина нарезки, то каждому резцу, предназначенному для данного числа ниток, нужно давать плоский или закругленный срез лишь одного определенного размера. Обыкновенно при нарезании резьбы резец устанавливается перпендикулярно к оси вращения и, постепенно углубляясь за каждый проход, снимает симметричную равной толщины стружку с обеих сторон (фиг. 70 *a*).





Фиг. 70.



Фиг. 71.

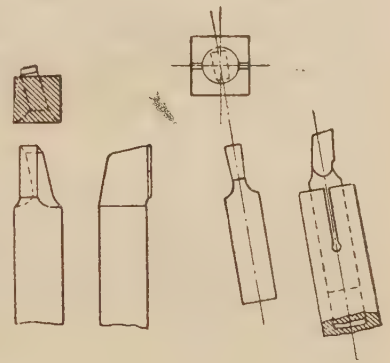
Резец можно установить и наискось, тогда он будет снимать с одной стороны очень тонкую стружку (фиг. 70 *b*), а с другой стороны — утолщенную, при этом получается один бок у резьбы очень чистый, глянцевитый, а другой наоборот—матовый. Для снятия наружных углов у резьбы ее еще раз начисто проходят особым резцом *K* (фиг. 70) или, если не требуется особой точности, при крупных шагах слегка опиливают напильником.

В случае прямоугольной резьбы лезвие резца представляет собою прямую *AB* пересечения передней и задней граней, причем ширина ее делается равной $\frac{t}{2}$ (фиг. 71) (t — шаг резьбы).

Чтобы резец не тер своими боками в пазах резьбы, его боковые грани получают уклон δ° книзу, и кроме того нижняя часть его головки получает скос в направлении подъема винтовой нитки или же при установке сам резец поворачивается около оси настолько, чтобы угол наклона лезвия его был равен углу наклона нитки

При этом (фиг. 71 *a*) углы резания на обеих сторонах режущей кромки получаются одинаково выгодными и равными между собой. Следовательно, чтобы резец мог вырезать винтовую канавку, он должен свободно помещаться в ней, для чего конец его делают скошенным и верхнюю грань сошлифовывают из горизонтального положения в наклонное под углом к оси, равным углу подъема нитки (фиг. 72 *a*, *b*). Чем круче подъем нитки, тем больше должна быть скошена головка резца (фиг. 72), однако на практике лучше всего делать резец прямым и вставным в державку (фиг. 72).

При круглом хвосте такой резец можно легко поворачивать вокруг его оси, а скашивая на суппорте вместе с державкою, применять его для любых подъемов винтовой нитки.



Фиг. 72.

Широкое распространение имеют круглые резьбовые резцы, подобные представленным на фиг. 63. Они крепятся обычно в специальных поворотных оправках, позволяющих установку резца по углу наклона нитки. Эти резцы весьма экономичны, так как допускают большое количество заточек. Заточка их не представляет трудности. При их изготовлении следует главное внимание обращать на возможность искажения профиля (см. выше о круглых фасонных резцах).

Кроме искажения величины угла нарезки может иметь место также и искажение прямолинейности его сторон; если круглый резьбовой резец, представляющий собою два усеченных конуса, сложенных большими основаниями, заточить ниже линии центров, то мы получим пересечение конуса с плоскостью, т. е. дуги гиперболы. Погрешность, получающаяся от этого, растет с уменьшением диаметра резца, достигая при обычно употребляемом диаметре 40 *мм*—0,0065 *мм*. Если эта величина является недопустимой, то при изготовлении круглых резцов следует прибегать к особым методам, дающим точный профиль[1]).

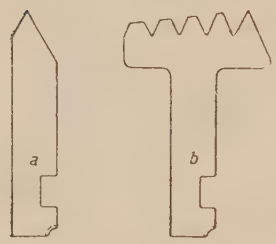
---

[1]) См. Орлов. Нарезание резьбы помощью круглых гребенок. „Вестник металлопромышленности“ № 7—8. 1928 г.

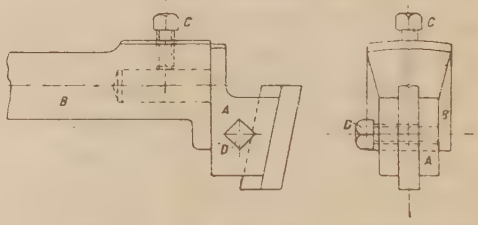
Б. З.

Когда требуется изготовить особенно чистую резьбу, то после предварительной прорезки резцом ее окончательно доводят так называемыми зубцами или гребенками; последние применяются почти исключительно для остроконечной резьбы. Отдельные винторезные зубцы и гребенки вставляются в особые державки и затачиваются параллельно передней грани (фиг. 73 *a*, *b*).

Если работу нарезания резьбы одним лезвием распределить одновременно на несколько лезвий, то ту же нарезку можно закончить значительно быстрее, ибо подача одиночного зуба только в лучшем случае составляет несколько десятых долей миллиметра и его лезвие легче подвергается износу и затуплению. При многозубой гребенке передние зубцы, начинающие работу первыми, делаются немного ниже, неполными, так что каждый последующий



Фиг. 73.



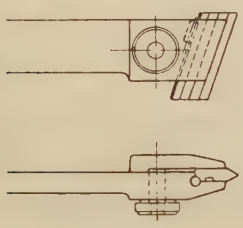
Фиг. 74.

зуб режет глубже предыдущего, и только один или два последних зуба берут полную глубину профиля. Если требуется совершенно точная резьба, то окончательную отделку не рекомендуется производить многозубчатой гребенкой, ибо выполнить совершенно точное деление зубцов в высшей степени трудно и еще более трудно избежать при закалке хотя бы самой незначительной поводки и коробления их.

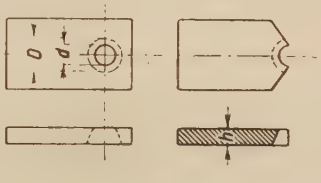
Чтобы приготовить гребенку, удовлетворяющую всем требованиям точного инструмента, нужно тщательно и точно приготовить целую серию подготовительных приборов и инструментов.

Кроме большой выгоды от продолжительсти службы, легкости заточки и постоянства профиля, вставные гребенки и зубцы особенно удобны еще благодаря тем державкам, в которых они постоянно работают. Помимо общеизвестных постоянных державок особенного внимания заслуживает так называемая поворотная державка (фиг. 74).

Она состоит из вращающейся на цапфе передней части *A*, несущей самый резец. Помощью зажимного винта *C* эта часть, установленная под желательным наклоном, скрепляется со стержнем *B* державки. Вставной резец своим ласточкиным хвостом закрепляется в державке *A* помощью винта *D*, стягивающего резец. Державка (фиг. 75) не поворотна, но она представляет весьма большие удобства для одиночных резцов (для зубцов), особенно для окончательной отделки винтовых резьб.



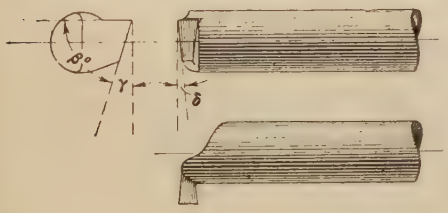
Фиг. 75.



Фиг. 76.

В державках резцы всегда устанавливаются под одним и тем же задним углом и потому мало зависят от рабочего.

Для получения внешних закруглений у точных нарезок и у мастер-метчиков, служащих для приготовления гребенок, нарезаемых обычно зубцами, служат специальные пластинчатые резцы (фиг. 76).



Фиг. 77.

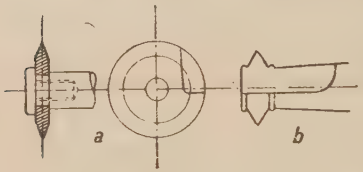
Фиг. 78.

В пластинке (фиг. 76 *a*) засверливается и раззенковывается дырочка, пластинка разрезается по диаметру (фиг. 76 *b*) и спиливается по краям под углом. После закалки и проверки такой резец используется в державке для снятия закруглений у резьбы. Диаметр *d*, толщина *h'* и *D* выбираются точно по данным резьбы и по углу установа.

Для приготовления внутренней резьбы употребляемые резцы встречаются преимущественно в двух формах — крючкообразные и круглые. Первые изготовляются так же, как и резцы для наружной

резьбы, лишь ковкою их (фиг. 77), либо в виде вставных в державку резбцов (фиг. 78).

Так же как и при наружной нарезке, передняя грань резца не должна иметь никакой заточки: ее плоскость должна проходить через ось вращения, и угол установа принимается равным 9—15°. Такие резцы употребляются чаще всего для крупных нарезок, и при остроугольной они дают профиль, не закругленный по меньшему диаметру нарезки.

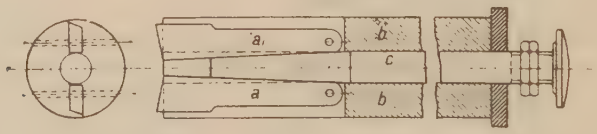


Фиг. 79 *a*, *b*.

Вторые употребляются для нарезания резьб сразу с закруглениями. Передняя грань и у них проходит через ось вращения и обращается вырезом через касательную к окружности, описанной радиусом, равным снижению лезвия от центра резца. Профиль нарезки может быть осуществлен на резце в виде кольца перпендикулярно к оси (фиг. 79 *a*, *b*).

Резцы раздвижные.

Совершенно особый класс представляют собою так называемые резцы с раздвижными лезвиями. Они употребляются для фасонной расточки каналов, для подрезания донышек и вытачивания в каналах узких проточек (фиг. 80).



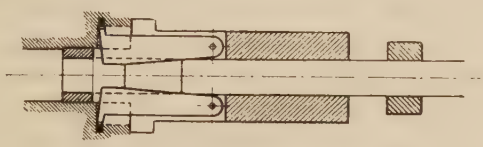
Фиг. 80.

В представленном резце ножи *aa* помощью штифтов укреплены подвижно в прорезах втулки *b*. Нижние плоскости ножей пришлифованы к коническому концу штыря *C*, выдвигая который до упора, резцы, введенные с оправкой *b* в канал, можно постепенно раздвинуть до желаемого размера. Неудобство состоит в том, что каждому конусу соответствует свой штырь и пара резцов. Такого устройства инструменты выгодны лишь при массовых работах, где применяется один и тот же постоянный профиль конуса. Для подрезки донышек в торец и для вырезания канавок для выхода

резца и пр. служат подобные же резцы с направляющими прорезами (фиг. 81).

Здесь, как и в предыдущем случае, резцы ножевидной формы выдвигаются за пределы прорезов помощью конического конца штыря.

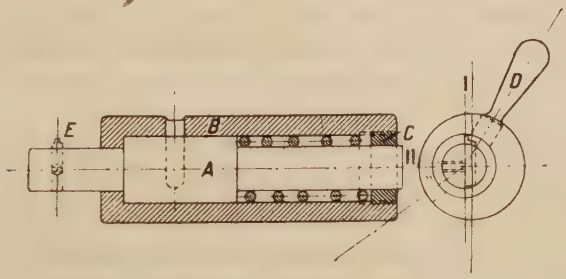
Величину раздвижения резцов можно регулировать установочным кольцом.



Фиг. 81.

Для прорезания канавок для выхода резца, например при нарезании резьб в каналах, служит особая поворотная державка (фиг. 82).

Штырь *A*, несущий резец *Q*, поворачивается во втулке *B* при помощи рукоятки, двигающейся в прорезе. Конец штыря с резцом эксцентричен, и при повороте резец выдвигается на величину эксцентриситета.



Фиг. 82.

Целый ряд других инструментов — резьбо-фрезера, гребенки с винтовой образующей, метчики и плашки, служащие также для приготовления резьб, относятся к другим классам режущих инструментов и будут рассмотрены в своем месте.

Материал для изготовления резцов.

Материалом для изготовления резцов служит углеродистая сталь с содержанием углерода от 0,6 до 1,5 %, известная под общим именем „инструментальной стали“. Инструментальная сталь с содер-

жанием углерода меньше 1% для резцов употребляется крайне редко (деревообделочные резцы) — она для этого слишком мягка.

Кроме обыкновенной углеродистой стали повсюду в наше время применяют для изготовления инструментов специальные сорта стали, которые представляют собой сплавы железа при содержании углерода до 0,9% и обычных спутников Mn и Si с различными количествами никкеля (Ni), хрома (Cr), вольфрама (W), молибдена (Mo) или ванадия (Va), придающих стали большую натуральную твердость и вязкость. Хромо-вольфрамовые стали с большим содержанием хрома и вольфрама, известные под именем самозакальных (закаливающиеся в воздухе) и быстрорежущих, благодаря большим допускаемым скоростям резания и чрезвычайной устойчивости в работе, заняли в инструментальном деле особое место, позволяющее современные станки рассчитывать на громадные нагрузки.

Каждый из сортов этой стали требует особых приемов для нагревания, ковки, отжига, закалки и отпуска, но тем не менее существуют некоторые общие правила, обязательные при изготовлении резцов как для простых углеродистых сталей, так и для многочисленных специальных сталей:

1. При заготовке резцов отрезать кусок от прутка нужно либо на токарном станке, либо на пиле, — надрубка зубилом в холодном состоянии и излом почти всегда дают мелкие трещины, которые потом при закалке расширяются и делают резец негодным для работы.

2. Приготовление резцов посредством ковки должно происходить за счет „вытягивания“ или „загибания“, но отнюдь не „осаживанием“, для чего штангу на резец надо брать большего профиля.

3. При ковке следует избегать многократно повторяемого нагревания, так как при частом его повторении с доступом воздуха сталь легко может утратить часть своего углерода в поверхностных слоях и потерять способность принимать закалку.

Вообще при ковке резцов, подлежащих дальнейшей отделке на токарном, фрезерном или ином станке, ковку нужно ограничивать лишь черновою заготовкой.

Так при изготовлении круглых фасонных резцов из круглого прутка их лучше проковывать, ибо прочность (крепость) подобных изделий значительно выше, чем у просто вытачиваемых из прутка.

4. Нагревание инструментальной стали предпочтительнее вести на древесном угле (или в закрытом муфеле), не содержащем серы.

Наиболее целесообразным ковочным нагревом для углеродистых сортов стали служат:

для самых твердых — светловишневый,
для твердых — светлокрасный,
для вязких и мягких — соломенно-желтый.

Слишком высокий нагрев стали может вызвать так называемый „перегрев“, — сталь при этом получается крупно-зернистая и очень хрупкая. При нагреве же с доступом воздуха до температуры выделения искр сталь может стать „пережженной“, т. е. окисленной на более или менее значительную глубину, и совершенно непригодной ни для каких целей.

Низкий нагрев также вреден, так как материал не получает достаточной пластичности и, оставаясь неподатливым при ковке, дает трещины.

Изготовление резцов, отличаясь для разных сортов стали, в общем состоит:

1) из отрубки куска в горячем состоянии или отрезки в холодном виде на станке;

2) из отковки резца приданием ему по возможности окончательной формы, допускающей в дальнейшем многократные заточки без перековки;

3) из закалки резца и последующего отпуска в соответствии с сортами стали и назначением резца;

4) из заточки или шлифовки рабочих граней и установительных поверхностей;

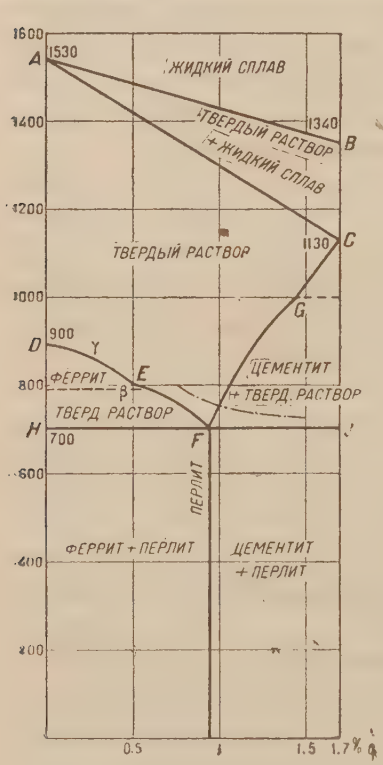
5) из осмотра, поверки и клеймения.

Таковы общие правила для изготовления резцов, которые в отдельных случаях (отсутствие поковки) могут нарушаться в порядке и изменяться по существу (дополнительная термическая обработка).

Закалка резцов.

Состояние стали с содержанием углерода от 0 до 1,7 %, в зависимости от температуры нагрева, представляется диаграммою (фиг. 83). Явления, происходящие при охлаждении стали с высокой температурой, имеют чрезвычайно важное значение для понимания процесса закалки.

Кривая *AB* соответствует температурам, при которых жидкая сталь с различным содержанием C начинает затвердевать. Между кривыми *AB* и *AC* лежит область, в которой сталь находится в полужидком состоянии (твердый раствор + жидкий сплав). Ниже кривой *AC* вся сталь находится уже в состоянии твердого раствора. Твердый раствор в обычных условиях может существовать лишь в определенных температурных границах. При дальнейшем охлаждении он начинает распадаться по кривым *DEF*. Твердый раствор с концентрацией в 0,95% C при температуре около 700° рекристаллизуется целиком, образуя так называемую эвтектическую смесь (перлит), состоящую из мельчайших чередующихся пластин чистого железа (Fe) и карбида железа, так называемого цементита (Fe_3C).



Фиг. 83.

Если сталь содержит менее 0,95% C, то при ее охлаждении по кривой *DEF* начинает выпадать из твердого раствора избыточный компонент — чистое железо (феррит). Дойдя до кривой *HJ*, оставшийся твердый раствор получит эвтектическую концентрацию (0,95% C) и застынет целиком в эвтектическую смесь (перлит). Следовательно ниже кривой *HJ* сталь получит структуру: перлит + феррит. Такие стали называются доэвтектоидными.

Стали с содержанием углерода выше 0,95% называются заэвтектоидными, в них избыточным компонентом является цементит, который и выделяется из твердого раствора по кривой *CF*. Далее при достижении кривой *HJ* твердый раствор также получает эвтектическую концентрацию и рекристаллизуется в перлит. Таким образом ниже кривой *HJ* получается структура перлит + цементит. Такова картина вторичной кристаллизации стали при медленном охлаждении, при котором все процессы рекристаллизации могут совершиться полностью.

Если же охлаждать сталь, нагретую выше кривой *HFJ*, с большой скоростью, например погружением в холодную воду, то процессы преобразования завершиться не успеют, твердый раствор не успеет распасться вполне, и охлажденная сталь получит неустойчивое состояние псевдо-раствора, так называемой структуры мартенсита. При наличии специальных примесей в стали быстрым охлаждением можно зафиксировать даже совсем не распавшийся твердый раствор, так называемую структуру аустенита.

При несколько более медленном охлаждении или при повторном невысоком нагреве после закалки получаются промежуточные между мартенситом и перлитом структуры: троостит и сорбит. Различные структуры стали обладают различной твердостью, что позволяет, варьируя термическую обработку стали, получать желаемые механические свойства.

Таблица 5.

Элемент структуры	Числа твердости по Бринелю
Феррит	82
Перлит	196
Цементит	712
Сорбит	332
Троостит	444
Мартенсит	578
Аустенит	204

Чтобы зафиксировать в стали мартенсит, сталь необходимо нагревать несколько выше температур кривой *DEF* и затем, как можно быстрее, охладить ее до температуры ниже 700°С. Таким образом и производится закалка эвтектоидной и доэвтектоидной стали.

При заэвтектоидных сталях с большим содержанием углерода (С) нет особой надобности заботиться о переводе цементита в мартенсит, так как первый тверже, и кроме того мартенсит благодаря своему сложению легче обусловливает выкрошивание и откалывание мелких частиц стали. Заэвтектоидные стали закаливаются с нагрева, несколько превышающего кривую *FJ*.

Обычные температуры нагрева для закала углеродистой инструментальной стали показаны на диаграмме (фиг. 83).

Закаленная инструментальная сталь не находится в состоянии полного равновесия: она имеет большие внутренние напряжения,

делающие ее ломкой, и обладает постоянным стремлением искусственно удержанный мартенсит перевести в предельные конечные состояния. Чтобы уничтожить такое состояние, закаленную сталь подвергают отпуску с повторным нагреванием ее до температуры 200—450°.

Благодаря такому нагреванию кристаллы стали получают некоторую свободу движений, а мартенсит, твердый, но хрупкий, частично при этом переходит в троостит или сорбит.

Температура нагрева и скорость охлаждения имеют большое влияние на степень закалки. Чем выше температура и выдержка при высокой температуре, тем крупнее кристаллы, — правильная температура нагрева и быстрое охлаждение дают мелкую кристаллическую структуру и большую твердость. Мелкозернистость достигается также горячею обработкой „прессованием“ и холодной прокаткой „волочением“ и „молотованием“, при этом увеличиваются прочность и твердость.

Все сказанное в отношении чистой углеродистой стали при обычных составляющих Si и Mn в основе своей остается неизменным и для сложных сортов, в которые введены Mn, Cr, W, Mo и Va.

Положение точек превращения (*DEF*) для специальных сталей отличается лишь тем, что все они значительно понижаются. Превращение мартенсита в феррит, перлит и цементит у специальных сталей происходит при тем более низких температурах, чем больше содержание указанных примесей.

При очень большом содержании таких примесей температура превращения мартенсита лежит ниже комнатной температуры, и он удерживается в стали даже без быстрого охлаждения, т. е. такие стали не нужно калить; они называются мартенситовыми или сталями с естественной твердостью. Если содержание примесей не так велико, чтобы температура превращения лежала ниже комнатной, то тогда требуется для них некоторый нагрев и охлаждение в воздухе. Такие стали называются самокальными. Хром (Cr) и вольфрам (W) представляют собой главные составные части быстрорежущей стали — они образуют с железом и углеродом двойные карбиды. Растворение этих карбидов в железе в форму наподобие мартенсита происходит при температурах значительно более высоких, а именно от 1100 до 1300° C. Отпуск хромовольфрамовых быстрорежущих сталей происходит при температурах 400—650° C, т. е. при слабом красном накале. Таким образом еще при температуре

около 600° С эти стали не теряют своих режущих свойств, что делает их в современной технике чрезвычайно важными режущими материалами.

Вследствие того что мартенсит имеет меньший удельный вес, чем перлит, все стальные предметы при закалке получают изменения размеров: так у стержневидных предметов толщина обычно, правда, незначительно растет, длина иногда в несколько большем размере убывает, иногда же возрастает. Отверстия в большинстве становятся меньше. В общем объем стального предмета от закалки увеличивается.

Таблица 6.

Углеродистая сталь для инструмента.

C %	Назначение стали	Температура ковки	Температура калки
0,6	Кузнечный инструмент	1 100—800°	800°
0,7	Молотки, клепальн. инструменты . . .	1 050—800°	780°
0,8	Ножницы, пуансоны, зубила	1 000—800°	750°
0,9	Штемпеля, матрицы, деревообд. инстр.	1 000—800°	750°
1,0	Фрезера, плашки, метчики	1 000—800°	780°
1,1	Резцы, фрезера, шабера	1 000—800°	760°
1,2	Резцы, фрезера, граверн. инструменты	1 000—800°	750°

Отпуск при 220—300° в зависимости от назначения инструмента.

Число типов специальных сталей очень велико, главнейшие из них:

1) Вольфрамистая сталь для точных инструментов высокого качества (фрезера, сверла). Состав: 1,2% C; 0,25 — 1% W.

2) Вольфрамистая сталь для фасонных резцов. Состав: 1,2 1,4% C; 3 -4% W. Обладает значительной натуральной твердостью.

3) Вольфрамовая сталь для резцов, работающих по закаленной корке. Состав: 1,2 -1,4% C; 5 7% W. Обладает натуральной твердостью.

4) Хромистая сталь для особенно хороших ножниц. Состав 0,5—0,7% C; 1,2—1,3% Cr.

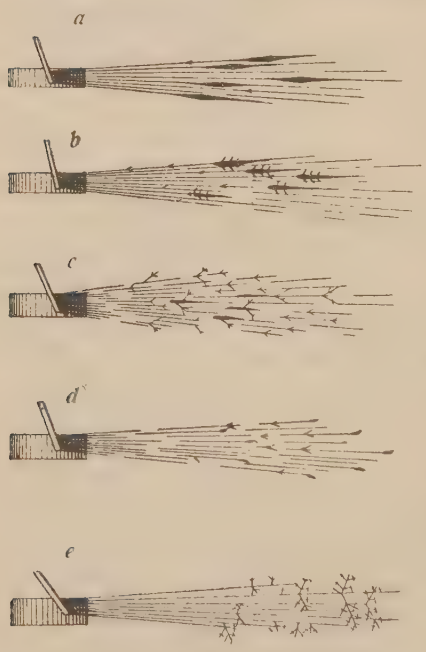
5) Хромо-вольфрамовая для различных мерительных инструментов. Состав: 1,1—1,25% C; до 0,5% Cr и 0,5 W.

6) Быстрорежущая сталь для резцов, фрезеров и прочих металлообрабатывающих инструментов. Состав: 0,6—0,9% C; 12—28% W; 1—8% Cr; 0,15—0,5% Mn и 0,1—0,5% Si — в зависимости от содержания W принимает закал в жидкостях, в струе холодного воздуха или вообще не требует искусственного охлаждения.

Стали 1), 4), 5) нуждаются в искусственном охлаждении при закалке.

Испытание стали искровой пробой.

В мастерских очень часто является необходимость определить по внешнему виду приблизительное качество стали, — сделать это однако по излому и на-глаз в высшей степени трудно.



Фиг. 84.

Вид искры у разных сортов стали бывает весьма разнообразен; каждой стали свойственно свое собственное, характеризующееся особыми признаками образование искр, по которому легко узнать, с какою сталью мы имеем дело. Этот способ при некотором навыке дает безошибочное средство для распознавания сортов стали. Если испытуемую сталь слегка прижать к вращающемуся шлифованному кругу, то от нее отделяются мельчайшие раскаленные частицы стружки. Круг средней твердости и зернистости, употребляемый для искровой пробы, должен быть правильно проточен алмазом и очищен от посторонних приставших к нему металлических частиц, чтобы не извращать получающейся искры.

Для распознавания разных сортов стали служат следующие признаки искры (фиг. 84):

1) Искра вида *a* соломенно-желтого цвета характеризует мягкое железо.

2) Искра вида *b* яркожелтого цвета характеризует литую сталь.

3) Искра вида *c* яркосветлого (белого) цвета характерна для инструментальной стали.

4) Искра вида *d* оранжево-красного цвета характеризует вольфрамовую быстрорежущую сталь.

5) Искра вида *e* темнокрасного цвета характерна для марганцевистой стали.

Хромоникелевые стали по цвету искры определить очень трудно — как цвет, так и искра их весьма переменны.

Нагревание резцов

для их закалки в небольших мастерских осуществляется в горнах. Температуру нагрева при этом можно определять только по цвету накала резца (см. табл. 7).

Таблица 7.

Цвета накала	C°	Цвета накала	C°
1. Светящийся белый .	1 500°	7. Темнооранжевый . .	1 100°
2. Сварочный нагрев . .	1 400°	8. Светловишневый . .	1 000°
3. Ярко-светлобелый . .	1 350°	9. Вишневый	900°
4. Светлобелый	1 300°	10. Темновишневый . .	800°
5. Светлооранжевый . .	1 200°	11. Красный	700°
6. Оранжевый	1 150°	12. Темнокрасный . . .	600°

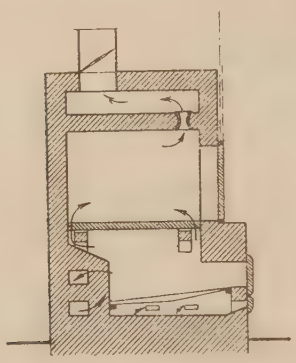
Чтобы лучше оценивать цвета накала, помещения калильных делаются темными или окна их снабжаются синими стеклами. Для точного определения температур нагрева служат пирометры — наиболее употребительные из них — с термоэлектрической парой, бывают снабжены прибором для автоматического записывания температур. Применение их дает надежное средство для определения температуры в печи с точностью до 5° С.

Для закалки массивных резцов, крупных фрезеров, зубил и пр. часто употребляют закалочные печи, обогреваемые газами, циркулирующими из топочного пространства через особые дымоходы в нагревательную камеру. Печи эти устраиваются для твердого и

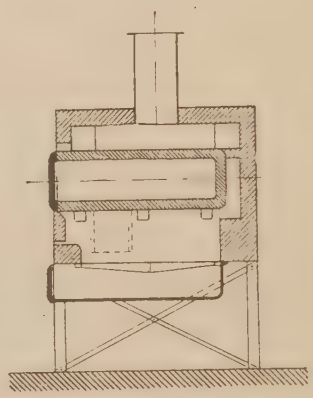
жидкого топлива. Подобные же печи употребляются для цементации железа и стали в особых цементационных ящиках (фиг. 85).

Несмотря на быстрое нагревание в таких печах, получить более или менее определенную гарантию равномерного прогревания всей массы материала очень трудно. Недостаток их заключается еще в том, что газы приходят в непосредственное соприкосновение с инструментами и могут вызвать окисление.

Для мелких и чувствительных инструментов чаще всего пользуются муфельными печами (фиг. 86).



Фиг. 85.



Фиг. 86.

Здесь ни пламя, ни газы с нагреваемыми изделиями не соприкасаются: пламя со всех сторон омывает муфель и нагревает его вполне равномерно. Расход топлива, в зависимости от размера муфеля, колеблется в широких пределах. Муфельные печи также устраиваются для твердого, жидкого и газообразного топлива. Температура, получаемая в них внутри муфеля, достигает около 1100° С.

Свинцовые и соляные ванны-печи.

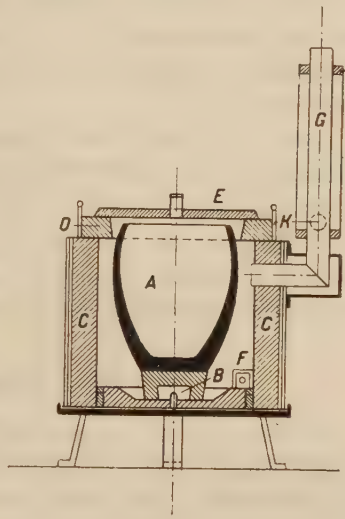
Очень часто приходится закаливать не весь инструмент, а только режущую часть его. Предыдущие печи устроены однако так, что они равномерно нагревают всю массу инструмента даже и тогда, когда часть его должна после закалки оставаться мягкой. Чтобы избежать излишнего нагрева, а также предохранить нагреваемую часть от окисления, устраиваются особые печи, в которых нагреваемое изделие погружается в расплавленную массу свинца или солей. Из металлов для получения ванны берут свинец, который нагревается

однако не свыше 850° С, так как при этой температуре начинается сильное его испарение.

Из других веществ употребительна соль хлористого бария, плавящаяся при температуре 980° С; такую ванну нагревают до 1150 1300° С, т. е. до температуры нагрева быстрорежущих сталей.

Смесь равных частей солей хлористого бария и хлористого калия плавится при температуре 650° и нагревается до 750—780° С — для обыкновенных углеродистых сталей. Печь с ванной, применяемая для быстрорежущих сталей, состоит из соляной ванны *A* и отапливается нефтью через форсунку *F* (фиг. 87).

Крышка *D* во время работы остается закрытой, а доступ к ванне осуществляется сдвиганием накладки *E*. Инструменты погружают прямо в раствор хлористо-бариевой соли, нагретой до температуры 1300°.



Фиг. 87.

Еще лучше и удобнее печи с соляными ваннами, нагреваемыми помощью электрического тока.

Охлаждение резцов.

Охлаждение резцов и других инструментов при закалке производится в жидкостях, в газообразных и твердых веществах. Охлаждающее действие их зависит как от чистоты поверхности предмета, так и от теплопроводности, теплоты, испарения и теплоемкости охладительных средств. Степень закалки зависит от интенсивности действия охлаждающей среды.

Главнейшие из них в порядке интенсивности действия следующие:

1) Вода подкисленная — с 5% поваренной соли и 3% H_2SO_4.
2) Морская проточная вода.
3) Чистая проточная вода.
4) Репейное масло.
5) Говяжье сало.
6) Глицерин.

7) Керосин.

8) Ворвань.

9) Сжатый воздух.

10) Атмосферный воздух.

Вышеуказанные вещества употребительны для быстрого охлаждения углеродистой и специальной стали; быстрорежущую сталь охлаждают преимущественно в маслах и воздухе (охладители № 4 до № 10).

Вода для охлаждения применяется в холодном состоянии при температуре 15—20° С, при температуре 100° она дает лишь слабую закалку.

Очень хорошие результаты получаются, если закаливание производится в воде до температуры красного коричневого накала и затем окончательным охлаждением в масляной ванне.

Отпуск резцов после закалки.

Чтобы получить инструмент (особенно резцы) как раз такой твердости, которая необходима для резания, и чтобы острие резца не крошилось — его после закалки нужно отпустить вторичным нагреванием. Так как резцы при закалке нагревают сплошь, а охлаждают и закаливают лишь конец, то для отпуска пользуются собственным теплом резца. Вынув из печи раскаленный резец, его быстро опускают концом в воду или в масло и охлаждают сколько нужно, затем вынув из ванны и быстро зашлифовавши дочиста маленькую площадку у закаленного конца, следят за изменением на ней побежалых цветов, которые появляются от тепла, передаваемого от неостуженного конца к месту закалки.

Побежалые цвета отпуска характеризуются следующими температурами:

Таблица 8.

Побежалый цвет	С°	Побежалый цвет	С°
Светложелтый	200°	Фиолетовый	285°
Темножелтый	240°	Темносиний	295°
Светлокоричневый .	250°	Серо-синий	315°
Коричнево-красный . .	265°	Серый	330°
Пурпурно-красный . . .	275°		

Когда желательный цвет достигнут, весь резец быстро и окончательно охлаждают в воде или в масле.

Там где требуется большая равномерность отпуска, остаточное тепло резца оказывается уже недостаточным и тогда пользуются дополнительным нагревом резца: его кладут на нагретую железную плиту или погружают в нагретый песок, температуру которого измеряют термометром. В настоящее время для отпуска чаще всего пользуются нагревательными печами, составленными из легкоплавких ванн (сплавы свинца), имеющих температуру плавления, соответствующую составу. Хорошо удовлетворяют требованию также масляные ванны, особенно когда они нагреваются электрическим током.

Различные сорта стали дают правильный и хороший закал лишь после соответствующего отпуска.

Таблица 9.

Температуры отпуска.

Характерные стали в % С	Побеж. цвет	Температура
Резец из угл. стали С—1,2—1,4 . . .	Коричнево-красн.	265° С
„ „ „ „ С—1,0—1,2 . . .	Темножелтый до пурпур.-красн.	270—275° С
Фреза „ „ „ С—1,0—1,1 . . .	Красный	230° С
„ „ „ „ С—0,9—1,0 . . .	Синий	300° С

Общие выводы.

При закалке резцов из инструментальной стали нужно помнить, что температура нагрева его для закалки всегда несколько ниже температуры его ковки.

Нагретый до требуемой температуры резец быстро погружают вертикально концом в проточную воду, — температура воды должна быть такова, чтобы гарантировать ему охлаждение до 25° С. После закалки резец подвергают отпуску при температуре около 250° — долбежные и строгательные отпускают несколько более при температуре 265—270°.

Закаленный и отпущенный резец проверяют лекалами и направляют в заточку на наждачное точило. При заточке нужно брать

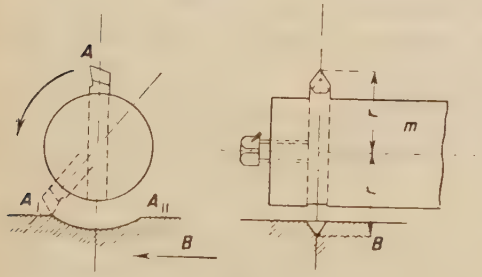
круг средней зернистости № 24—36 и резец поливать сильной струей воды, — это уберегает лезвие от дальнейшего отпуска.

Закалка резцов из быстрорежущей стали требует большого опыта и внимательности; ввиду разнообразия ее сортов рекомендуется употреблять по возможности сталь одной марки. По способу Тейлора — Уайта после отковки резца из быстрорежущей стали, он подвергается термической обработке, состоящей из медленного нагрева до температуры около 700°, затем из возможно быстрого нагрева несколько ниже точки плавления, после чего резец быстро охлаждается в масляной ванне до 620° и затем медленно остужается до температуры окружающего воздуха. После охлаждения резец вторично в течение пяти минут нагревают до температуры 620° и медленно или быстро (безразлично) охлаждают окончательно в масле. По проверке резец поступает в заточку на наждачное точило, где применение сильной струи охлаждающей воды является совершенно необходимым. Приготовленные таким образом резцы почти всегда оказываются неизменно устойчивыми.

ГЛАВА II.

ФРЕЗЫ.

При рассмотрении резцов, служащих для внутренней расточки отверстий и каналов (фиг. 51*а*), мы видели, что оправка *m*, вращаясь вокруг своей оси, принуждает резец *n*, углубившийся в материал, непрерывно снимать стружку, если конечно оправка при своем вращении имеет еще и поступательное движение по оси. Предположим, что оправка *m* (фиг. 88) вращается в пространстве так, что ось ее параллельна поверхности тела *B* и вылет резца *r* более расстояния оси вращения от поверхности *B*, тогда при каждом своем повороте резец *A* будет на некотором промежуточном пути *A'A''* (фиг. 89)



Фиг. 88.

Фиг. 89.

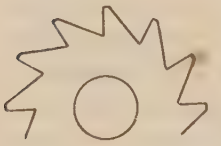
срезать у тела *B* стружку неравной толщины по дуге *A'A''*; остальную часть пути *A''* II резец пройдет вхолостую, т. е. не задевая тела *B*.

Допустим для простоты, что резец совершает только вращательное движение, но при каждом его обороте тело *B* получает некоторое непрерывное перемещение перпендикулярно оси вращения на величину II — *A''* (фиг. 89), тогда резец за время своего оборота снимет новый слой металла *A* II, но уже по другой форме, чем это было в предыдущем, и так будет повторяться до тех пор, пока не пройдет канавку во всю длину тела *B*.

Если вместо резца (фиг. 51*а*) с одним лезвием взять резец (фиг. 51*е*) с двумя диаметрально противоположными лезвиями, то за каждый оборот оправки эти лезвия придут в соприкосновение с телом *B* уже два раза. Так как все условия работы остались

прежними, то оба лезвия снимут каждое по такому же слою металла, но зато между ними окажутся непрорезанные пролеты в местах, где оправка проходила вхолостую. Если взять не два лезвия, а например четыре-шесть и т. д., то величина непрорезанных пролетов будет уменьшаться. Подобный принцип работы называется „фрезерованием“.

В практике на окружности оправки делается обычно много режущих граней, чтобы резание получилось непрерывным, и получаемый таким образом инструмент называют „фрезою“. Следовательно фрезою можно назвать совокупность резцов, расположенных на цилиндрической конической, фигурной или плоской поверхности так, что при вращении ее вокруг оси симметрии они последовательно друг за другом производят работу резания. Простейший вид фрезы (фиг. 90) представляет цилиндр, на боковой поверхности коего в направлении образующей нанесены режущие ребра.



Фиг. 90.

Если окружную скорость вращения лезвия 1 обозначим через V, то

$$V = 2\pi r n \qquad 21$$

представит путь, пройденный его точкой в одну минуту, значит число оборотов его получится из

$$n = \frac{V}{2\pi r}. \qquad 22$$

Если одновременно с вращением фрезы тело B перемещается равномерно поступательно с относительною скоростью w в минуту, то путь, проложенный фрезой на направлении движения за один оборот, будет

$$\frac{w}{n} = \frac{2\pi r \cdot w}{v}, \qquad 23$$

а путь, пройденный телом B за время поворота лезвия на угол α, окажется:

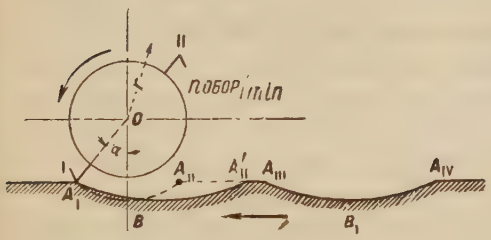
$$u = \frac{w \cdot \alpha^\circ}{n \cdot 360^\circ} = \frac{2\pi r \cdot w \cdot \alpha^\circ}{v \cdot 360^\circ}. \qquad 24$$

Отсюда по заданным скоростям v вращения и w предмета для каждого поворота фрезы α° можно определить величины перемещений изделия u, а по ним построить и кривую $A_{\mathrm{I}}BA_{\mathrm{II}}'$ углубления — она будет представлять собой циклоиду (фиг. 91).

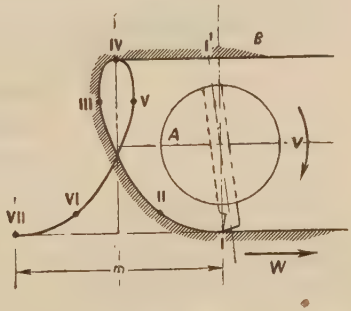
Чем больше скорость v по отношению к w, тем чаще будут следовать углубления $A_I B A_{II}' A_{III} B_I A_{IV}$ и таким образом тем короче будут между ними пролеты $A_{II}' A_{III}$, и при большом числе зубьев они совершенно исчезнут, — кривые будут перекрываться. Следовательно для чистоты поверхности фреза должна иметь больше зубцов, большую окружную скорость и малую подачу тела B.

Если фреза, углубленная в паз тела (фиг. 92) B, получает вращение со скоростью v, а тело остается неподвижным, то лезвие прорежет в нем след по дуге вращения I A_I.

Представим себе, что при вращении фрезы со скоростью v тело B получает перемещение w и за оборот фрезы проходит путь



Фиг. 91.



Фиг. 92.

m, тогда лезвие прорежет в пазу след по кривой I — II — III — IV, а верхушка его на полном обороте фрезы, т. е. на пути m, опишет кривую I — II — III — IV — V — VI — VII. При каждом следующем обороте резец будет снимать слой металла I — II — III — IV — III — II — I, а при большом числе зубцов (лезвий) эти кривые слоев срезываемого металла будут покрывать собою друг друга и образуют кривую в форме дуги круга радиусом, равным радиусу фрезы.

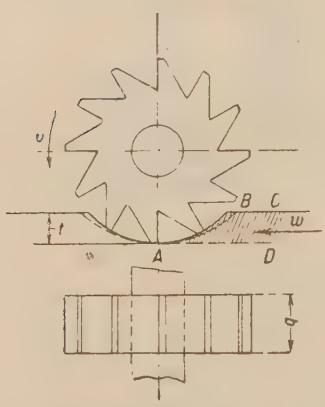
Работа фрезы.

Окружная скорость фрезы v при работе ею называется „скоростью резания“, относительная скорость ее поступательного движения (скорость изделия) w — называется „питанием“; величина питания за один оборот фрезы называется „подачею“ S. Объем срезаемого металла $ABCD$ (фиг. 93) определяется шириной стружки q, соответствующей ширине фреза — „шириной поля действия“, и глубиной погружения или установа (t).

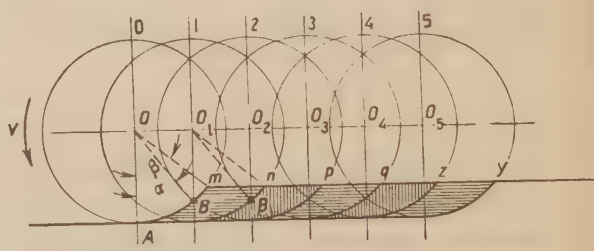
Предположим для простоты, что фреза получает вращательное движение со скоростью v и поступательное вдоль обрабатываемого изделия (фиг. 94).

Если через промежуток времени t, центр фрезы O переместится в положение O', а сама фреза повернется на угол α°, то зубец ее из положения A перейдет в положение B_1, и снимет при этом слой металла $ABmnB_1A$.

Величина расстояния mn, равная величине перемещения центра O в новое положение O', будет представлять собой толщину слоя металла на поверхности, снятого за время t. В следующий за этим промежуток времени t фреза снова повернется на угол и снимет новый слой металла, заштрихованный вертикально, толщиной в np. Если условия работы фрезы не изменятся, то за равные промежутки времени t фреза снимет новые стружки так, что $mn = np = pq = qz$, а форма их будет совершенно тождественна форме стружки, полученной в положении $O - O'$.



Фиг. 93.



Фиг. 94.

Пусть фреза O, вращаясь со скоростью v, передвинулась за время t в положение O', причем скорость подачи ее была равна S. Если она повернулась на угол α° (фиг. 95), заключающий в себе n зубцов, то слой материала $PAA'P'$ окажется снятым n зубцами, и на долю каждого придется стружка толщиной

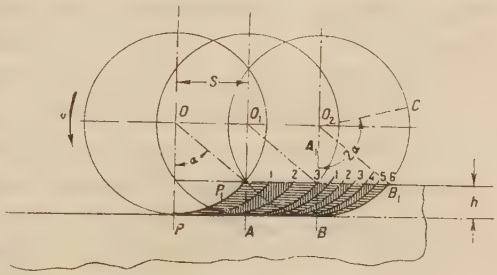
$$P_1 - 1 = 1 - 2 = 2 - 3 = \frac{P_1A}{n} = \frac{OO'}{n}.$$

Допустим, что в следующий промежуток времени t мы увеличили скорость вращения вдвое, оставив прежнюю подачу S, тогда фреза из O' перейдет в положение O'', а точка B фрезы поверхности не в положение B', а в положение C_1, т. е. фреза повер-

нется на угол $2\alpha^\circ$, заключающий в себе $2n$ зубцов, и каждый из них снимает стружку, толщиной

$$A'-1=1-2=2-3=3-4=\frac{A'B'}{2n}=\frac{OO'}{2n}=\frac{S}{2n}.$$

Так как объем снятого за промежуток времени t металла такой же как и в первом случае, но снят уже не в n, а в $2n$ стружек, то на долю каждого зуба естественно придется вдвое меньшая нагрузка, зубцы будут меньше напряжены, и поверхность обработки получится чище, но зато и каждый зуб фрезы будет вдвое меньшее время в холостом состоянии, т. е. время его охлаждения сократится вдвое.



Фиг. 95.

Следовательно для большей сохранности фрезы, т. е. для уменьшения износа от нагрузки на зубец снимаемого металла и для получения чистой работы выгодно увеличивать скорость вращения ее. Однако увеличение скорости вращения не должно быть таким, чтобы зубцы не успевали охлаждаться за время холостого пути их, ибо в противном случае концы их быстро отпустятся и фреза окажется испорченной. С целью увеличения скорости резания фрезы без нагревания зубцов, во время работы ее на сталях ее поливают сильной струей воды или иной охлаждающей жидкостью.

Предположим снова, что фреза O, вращаясь со скоростью v и при подаче S_1, перешла за промежуток времени t из положения O в новое O', повернувшись при этом на угол α°, вмещающий n зубцов, каждый зуб снимает стружку, толщиной

$$B-1=1-2=2-3=\frac{S_1}{n}=\frac{OO'}{n}.$$

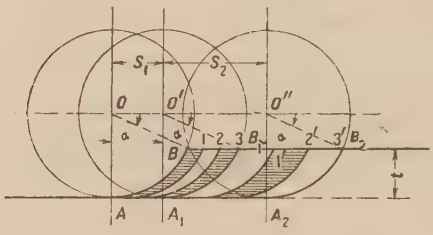
В следующий промежуток времени t фреза, вращаясь с тою же скоростью v, получила увеличенную подачу $S_2=2S_1$ и повернувшись на угол α°, перешла в положение O'' (фиг. 96).

Объем металла, снятый во втором случае, будет $A_1B_1B_2A_2=$ $=2ABB_1A_1$ — вдвое больше, чем в первом случае, а число зубцов,

снявших его, остается то же самое (прежнее), т. е. на долю каждого зуба придется стружка

$$B_1 - i = 1' - 2' = 2' - 3 = \frac{S_2}{n} = \frac{O'O''}{n} = 2\frac{S_1}{n}.$$

Нагрузка при этом на каждый зубец удвоится, работа каждого зубца увеличится в два раза, поверхность изделия окажется более шероховатой, и следовательно для сохранности зуба получатся условия почти вдвое менее благоприятными.



Фиг. 93.

В смысле времени охлаждения зубцов условия остались прежними.

Так как количество работы при этом за тот же промежуток времени увеличивается вдвое, то значит и стоимость ее соответственно уменьшается; поэтому на практике скорость подачи берут сколько возможно большей, но чтобы при этом не получилось толстой стружки, т. е. чтобы зубец не оказался слишком нагруженным, фрезе одновременно дают и увеличенную скорость вращения. При этом конечно применяется очень интенсивное охлаждение водой. Очень важно выбрать комбинацию этих скоростей наивыгоднейшим образом, т. е. так, чтобы объем снятого металла был наибольший, чтобы давление на зуб было невысоким, чтобы не получалось сильного нагревания зубцов и поверхность изделия выходила чистой.

Как правило, вытекающее из предыдущего, получается следующее положение: „с увеличением скорости подачи фрезы должна быть увеличена и скорость резания“ (и наоборот).

Из выведенного только что правила вытекает и определенная зависимость между скоростью подачи и скоростью резания для фрез: эти величины прямо пропорциональны.

Для увеличения производительности фрез существуют еще возможности, а именно: увеличение толщины слоя снимаемого металла и увеличение ширины фрезерования. Но чем больше глубина погружения фрезы, тем больше нагружены ее зубцы, тем больше возможность их износа и тем меньше должна быть величина подачи. Ширина фрезерования определяется условиями работы и размерами ширины наличной фрезы, — чем она больше, тем больше

объем одновременно снимаемого металла, тем больше производится работы и тем дешевле она получается, но тем большею мощностью должен располагать станок, чтобы создавать фрезе необходимую скорость вращения. Если при данной ширине поля резания и данной глубине погружения станок оказывается недостаточным по мощности, то тогда нужно подачу и скорость резания соответственно уменьшить. Поэтому при грубой обдирке фрезою выгодно брать относительно небольшую скорость резания, при умеренной подаче и большом погружении. Для чистой работы наоборот увеличивают скорость резания и, уменьшая подачу и глубину погружения, берут, поскольку позволяет работа, большую ширину поля действия. Толщина стружки, снимаемая при работе каждым зубцом фрезы, зависит от очень многих условий, а потому дать точные указания о величинах скорости резания и подачи при данном погружении, чтобы они были наибольшими допустимыми, не представляется возможным.

Практика выработала некоторые средние данные, которые в различных комбинациях скорости резания, подачи, глубины и ширины поля действия, дают условия наивыгоднейшей работы.

Исходными данными для скорости резания и величины подачи могут служить следующие сведенные в таблицу цифры:

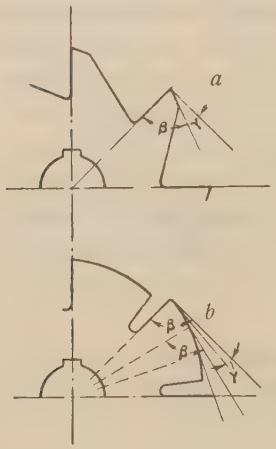
Таблица 10.

Скорости резания при фрезеровании в м/мин (по „Betriebshütte“).

Материал	Фрез из углеродистой стали		Фрез из быстрорежущей стали	
	Чернов.	Чистов.	Чернов.	Чистов.
Сталь St 40.11	15 ÷ 18	17 ÷ 20	18 ÷ 22	24 ÷ 23
„ St 50.11 и 60.11 . .	10 ÷ 15	12 ÷ 18	12 ÷ 18	18 ÷ 25
„ St 70.11 и 80.11 . .	8 ÷ 10	10 ÷ 12	10 ÷ 12	15 ÷ 18
Литая сталь мягкая . . .	5 ÷ 7	8 ÷ 10	6 ÷ 9	10 ÷ 12
„ „ твердая . . .	4 ÷ 5	6 ÷ 8	5 ÷ 6	8 ÷ 10
Стальное литье мягкое . .	9 ÷ 12	12 ÷ 15	11 ÷ 15	15 ÷ 20
„ „ твердое . .	5 ÷ 8	8 ÷ 11	6 ÷ 10	12 ÷ 16
Чугун мягкий	9 ÷ 12	12 ÷ 15	11 ÷ 15	15 ÷ 20
„ твердый	5 ÷ 8	8 ÷ 11	6 ÷ 10	12 ÷ 16
Чугун ковкий мягкий . .	13 ÷ 15	17 ÷ 20	16 ÷ 20	22 ÷ 25
„ твердый	8 ÷ 12	12 ÷ 16	12 ÷ 15	18 ÷ 21
Бронз. латунь мягкая . .	17 ÷ 20	22 ÷ 28	24 ÷ 28	35 ÷ 40
„ „ твердая . .	12 ÷ 16	15 ÷ 21	18 ÷ 23	25 ÷ 32
Легкие металлы мягкие . .	75 ÷ 100	90 ÷ 120	90 ÷ 120	115 ÷ 200
„ „ твердые .	50 ÷ 75	60 ÷ 90	60 ÷ 70	80 ÷ 150

Углы резания фрез.

Лезвия зубцов фрезы, как и обыкновенные резцы, образуют определенные углы с направлением обрабатываемой поверхности. В практике изготовления фрез выработались зубцы двух видов: зубцы остроконечные или „европейского“ профиля (фиг. 97*a*) и зубцы со спиральной заточкой задней грани или „американского“ профиля (фиг. 97*b*).



Фиг. 97.

В первом случае передняя грань в большинстве случаев направлена по радиусу; а задняя, также плоская, сточена по отношению к ней под некоторым углом, составляющим с касательною в точке пересечения направления передней грани с окружностью так называемый задний угол или угол установа, равный $\gamma^\circ = 3 - 7^\circ$. В силу этого угол резания $\alpha^\circ = 90^\circ$ и угол заострения $\beta = 83 - 87^\circ$, — больший употребляется при обдирке, меньший — при чистой отделке (см. табл. 11 на стр. 77).

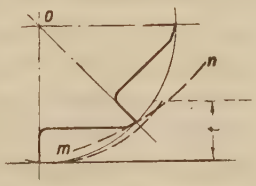
Во втором случае передняя грань направлена по радиусу, а задняя сточена по логарифмической спирали, в силу чего касательные во всех точках с направлением радиусов образуют постоянный угол β°. Угол, образуемый касательной к спирали, с касательной с соответствующей одной и той же точке окружностью, представляет собой задний угол или угол установа $\gamma^\circ = 8 - 15^\circ$: в силу этого угол заострения β° здесь равняется $75 - 82^\circ$. Угол резания получается прямым лишь тогда, когда кривая резания есть окружность; чем больше кривая резания отличается от окружности, тем заметнее отличается угол резания от прямого, превращаясь в острый. Одновременно изменяется и угол установа, так как он образуется касательной к действительной кривой резания и направлением подачи. Ввиду того что действительная кривая резания (циклоида) весьма мало отклоняется от окружности, разница между прямым углом и действительным острым углом резания получается очень небольшой и всегда меньше угла между задней гранью зуба и направлением рабочей поверхности, таким образом фреза затылком не трет. Если однако при обдирке берут большую подачу и сразу снимают толстый слой металла, то кривая резания может

Таблица 11.

Подачи при фрезеровании в мм/мин [1]) *(по Refa).*

Фрезер		Ширина фрезеров *мм*	Сталь St 50.11	Ковкий чугун	Чугун средней твердости
Лобовой	чистов.	до 50	35	50	60
	чернов.		22 ÷ 35	30 ÷ 45	35 ÷ 55
	чистов.	свыше 50	30	50	60
	чернов.		20 ÷ 30	25 ÷ 40	30 ÷ 48
Цилиндрич.	чистов.	до 30	30	40	50
	чернов.		22 ÷ 30	25 ÷ 40	30 ÷ 45
	чистов.	свыше 30	30	40	50
	чернов.		18 ÷ 25	22 ÷ 35	25 ÷ 40
Прорезной	чистов.	до 30	30	35	40
	чернов.		18 ÷ 30	20 ÷ 35	25 + 40
	чистов.	свыше 30	25	30	35
	чернов.		15 + 25	18 ÷ 30	22 ÷ 35
Угловой	чистов.	до 20	30	40	50
	чернов		15 ÷ 22	20 + 30	22 ÷ 35
	чистов.	свыше 20	30	40	50
	чернов.		12 ÷ 20	18 ÷ 25	20 ÷ 30

настолько сильно отличаться от окружности, что направление ее пересечет заднюю грань (фиг. 98) и фреза резать не будет.



Фиг. 98.

Вот почему для обдирочных работ берут фрезы с большим углом установа и чаще всего пользуются зубом со снятым по спирали затылком.

При рассмотрении резцов мы видели, что

[1]) Для так называемых фрез „высшей производительности", предложенных фирмой Cincinati, при черновой обработке эти значения увеличиваются в несколько раз.

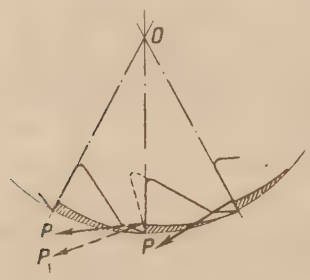
Б. З.

срезывание материала происходит тем легче, чем меньше угол резания.

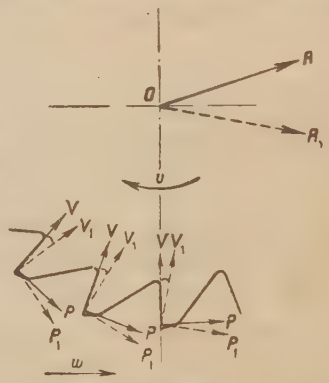
Однако такое уменьшение угла резания имеет вполне определенный предел, полагаемый самой конструкцией, обеспечивающей необходимую прочность резцу.

То же самое относится и к зубцам фрез. Кроме того при малом угле резания зубец, внедряясь вглубь металла как клин, испытывает большие напряжения от давления стружки, значительно повышающие расход энергии, потребный на преодоление работы трения.

При большом угле резания (90°) давление металла на переднюю грань получается больше и вызывает увеличенный расход энергии для преодолевания сопротивления материала отделению стружки (фиг. 99).



Фиг. 99.



Фиг. 100.

Силы P, появляющиеся вследствие сопротивления металла резанию, при радиальном направлении передней грани не вызывают втягивания зубца в металл, в то время как зубец, имеющий угол резания меньше 90°, вызывает такое расположение сил P (пунктир), что они неизбежно втягивают его в металл, вследствие чего фреза вырывает материал неправильными кусками, — поверхности получаются неровными. В этом отношении преимущество надо отдавать радиальному зубцу. Вследствие противодавления, оказываемого поверхностью резания на лезвие зубцов, появляются силы V (V_1) в направлении передней грани. Слагаясь с силами P (P_1), они образуют равнодействующие R (R_1), которые при радиальном зубце стремятся оторвать фрезу от обрабатываемой поверхности, при остром же угле (фиг. 100) она равняется R_1 и стремится втягивать зубцы в материал.

В этом вторая причина, почему практика предполагает для чистой работы радиальные зубцы.

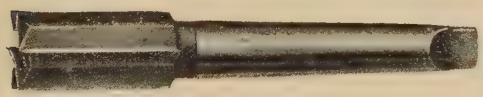
Классификация фрез.

В большинстве курсов, посвященных режущим инструментам, очень подробно рассматривается значение фрезерных работ, как особых приемов быстрой и точной обработки, но вопросу систематизации инструментов этого вида уделяется относительно мало внимания, кроме разве трудов Е. Симона [1]), сделавшего попытку дать стройную их классификацию.

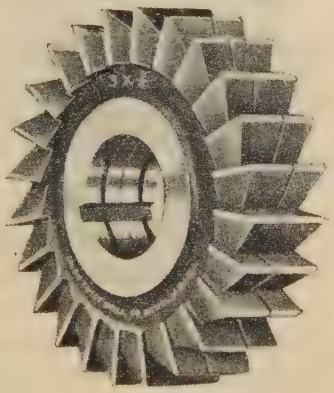
Нам кажется, что условия правильной работы основываются на точном и ясном понимании инструмента и его роли, а потому дать по возможности полную классификацию фрез было бы делом далеко не бесполезным.

I. По роду материалов, из которых изготовляют фрезы, их можно разделить на три группы:

a) фрезы их углеродистой инструментальной стали служат для всевозможных работ на мягких материалах (железо, мягкий чугун, медь, латунь, белые сплавы);



Фиг. 101.



Фиг. 102.

b) фрезы из быстрорежущей стали служат для самых разнообразных работ, а также для твердых и вязких материалов (твердый чугун, стальное литье, твердая сталь и пр.);

c) фрезы, изготовленные частью из быстрорежущей, частью из углеродистой стали; употребляются там, где требуется применение инструментов больших размеров.

II. По роду устройства самих фрез, их можно различать также в трех направлениях:

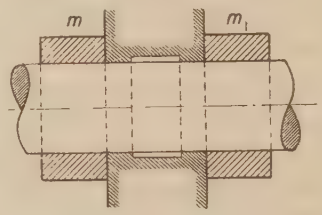
a) фрезы, изготовляемые холодной обработкой из цельного куска или с предварительной проковкой их приблизительно по форме (фиг. 101);

b) фрезы, изготовляемые поковкой или в холодном состоянии из кусков инструментальной стали и соединяемые во время работы в одно целое — это так называемые сборные фрезы (фиг. 102);

[1]) V. E. Simon. Die Schneidstähle.

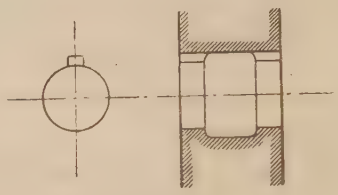
c) фрезы, изготовляемые из многих частей таким образом, что зубцы, сделанные из быстрорежущей стали, вставлены в тело выточенное из простой стали, — это фрезы со вставными зубцами (фиг. 103).

III. По способу насадки фрезы разделяются на:



Фиг. 104.

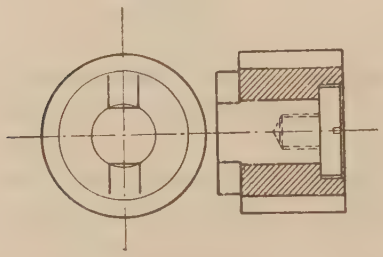
Фиг. 103.



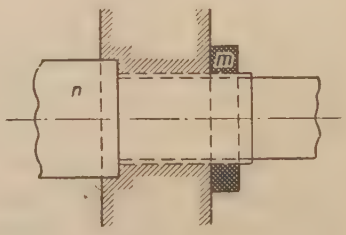
Фиг. 105.

a) фрезы, которые своим отверстием насаживаются на гладкую оправку и помощью колец mm_1 зажимаются с одной стороны или с двух сторон гайками (фиг. 104);

b) фрезы, насаживающиеся на оправку при помощи шпонки (фиг. 105);



Фиг. 106.

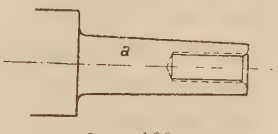


Фиг. 107.

c) фрезы, имеющие для насадки на оправку цилиндрическую дыру, с одного торца которой сделан прямой паз *nn*, вмещающий соответствующий выступ оправки. Последняя кроме того притягивается еще винтом *p*, — это так называемая концевая фреза (фиг. 106);

d) фрезы, насаживающиеся на оправку при помощи нарезного отверстия и затяжного кольца — гайки *m*. Оправка центрируется своим точно пришлифованным уступом *n* (фиг. 107);

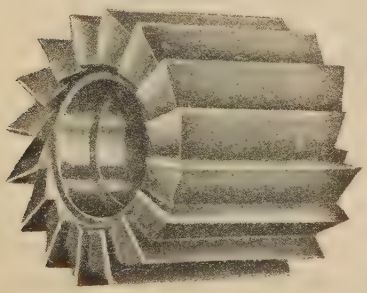
e) фрезы, имеющие коническую расточку под оправку, снабженную коническим хвостом *a*. Фреза притягивается снаружи винтом. Это насадка специально для концевых фрез (фиг. 108).



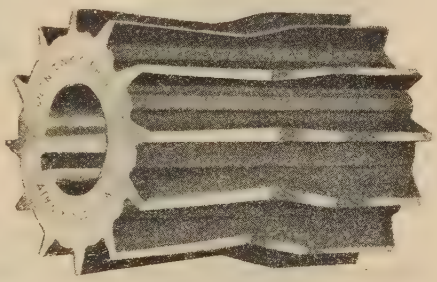
Фиг. 108.

IV. По направлению режущих граней зубцов фрезы разделяются на:

a) фрезы с прямыми зубцами, лезвия которых параллельны оси вращения. К числу таких фрез относятся цилиндрические фрезы для обработки прямых поверхностей и плоскостей (фиг. 109);



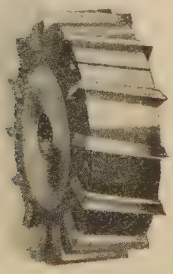
Фиг. 109.



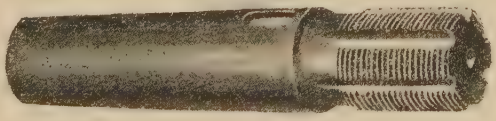
Фиг. 110.

b) фрезы, у которых зубцы расположены на поверхности вращения. Эти фрезы служат главным образом для обработки прямых фасонных поверхностей (фиг. 110);

c) фрезы с косым расположением зубцов, лезвия коих направлены под углом к оси вращения. Сюда относятся фрезы со вставными зубцами (фиг. 111);



Фиг. 111.



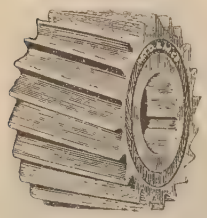
Фиг. 112.

d) фрезы с зубцами, расположенными на поверхности вращения по винтовой линии (фиг. 112). Режущие лезвия у таких фрез либо параллельны оси вращения, либо направлены по весьма пологой спирали. Сюда относятся резьбофрезера, червячные и зуборезные фрезы.

V. По характеру расположения зубцов относительно оси вращения или по форме поверхности вращения фрезы различают:

a) цилиндрические или аксиальные, у которых прямые или спиральные зубцы расположены на поверхности вращения прямого цилиндра (фиг. 113);

b) лобовые или торцовые, у которых зубцы расположены на торцевой поверхности перпендикулярно оси вращения (фиг. 114). Они чаще всего на-



Фиг. 113.

Фиг. 114.

саживаются вертикально на особые оправки или закрепляются собственным хвостом, как фиг. 101;

c) конические, у которых зубцы расположены на конической поверхности и по отношению к оси вращения могут иметь лезвия, параллельные образующей или спиральные (фиг. 115);

Фиг. 115.

Фиг. 116.

Фиг. 117.

Фиг. 118.

d) смешанные, т. е. у которых зубцы нанесены на поверхности вращения и на боковых поверхностях (фиг. 102, 103);

e) фасонные, у которых поверхность вращения имеет сложную фигурную форму (фиг. 116), и зубцы нанесены на этой поверхности.

Сюда относится множество фрез специального назначения:

1) фрезы для нарезания цилиндрических разверток (фиг. 117),

2) фрезы для нарезания спиральных сверл (фиг. 118),

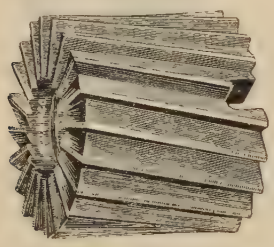
3) фрезы для изготовления канавок у метчиков,

4) фрезы для нарезания спиральных пазов у разверсток,

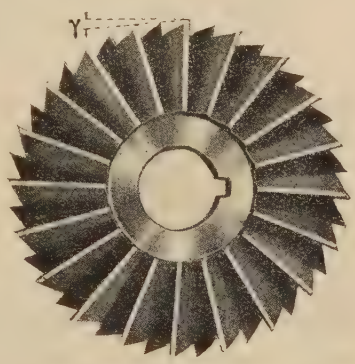
5) фрезы для изготовления зенковок и различных разбуровок,

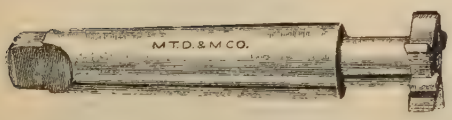
6) аксиально-радиальные фрезы со смешанным расположением зубцов по поверхности вращения и в плоскости, перпендикулярной к оси вращения (фиг. 119), которые в свою очередь могут распадаться на множество видов в зависимости от формы поверхности вращения и положения зубцов на ней,

7) фрезы шпоночные, канавочные и пазовые, расположение зубцов у

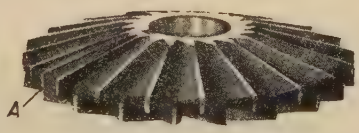


Фиг. 119.





Фиг. 120.



Фиг. 121.

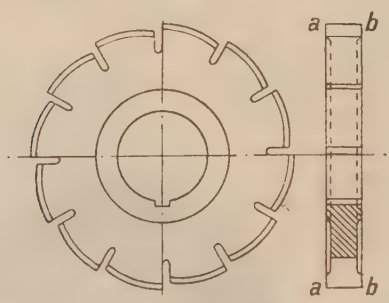
которых соответствует характеру поверхностей паза или канавки (фиг. 120).

VI. По способу образования зубцов и характеру заточки их фрезы разделяются на:

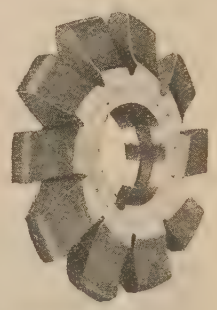
a) фрезы с „европейским“ или остроконечным профилем зубца (фиг. 121), образованным радиальным направлением передней грани и лезвием, полученным от пересечения ее задней гранью под углом γ с касательной. Заточка производится плоскостями, параллельными задней грани;

b) фрезы с „американским“ профилем зубцов, т. е. такие, у которых передняя грань радиальна, а задняя образована заточкой по логарифмической спирали (фиг. 122). Затачиваются они по радиальным плоскостям и иногда еще шлифовкою боков „*aa* — *bb*“;

c) фрезы с „американским“ профилем и лезвием, представляющим точное очертание вырабатываемого изделия. Заточка таких фрез ведется по радиальным плоскостям в направлении передней грани. Сюда относятся зуборезальные, модульные (фиг. 123), червячные и др. фрезы;



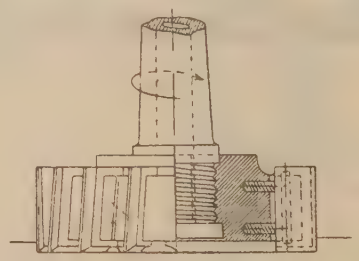
Фиг. 122.



Фиг. 123.

d) фрезы с мелким, простым остроконечным зубом, образующим лезвие в пересечении передней радиальной грани с заднею гранью без снятия затылка, образующего угол установа. Заточка применяется вообще редко, но тогда ведется либо радиальными плоско-

Фиг. 124.



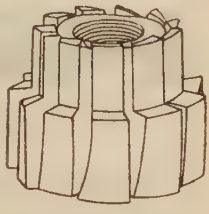
Фиг. 125.

стями, либо параллельно задней грани. Такой зубец мало устойчив, быстро спашивается и вызывает необходимость переточки фрезы наново (фиг. 124).

VII. По расположению оси вращения и по характеру производимой работы фрезы разделяются на:

a) фрезы с вертикальной осью вращения для обработки плоских поверхностей торцем (фиг. 125);

b) фрезы с вертикальной осью вращения для обработки плоских поверхностей или фасонных поверхностей зубцами, расположенными на боковой поверхности вращения фрезы (фиг. 126). В этом случае движение предмета (подача) или фрезы производится часто принудительно по копиру или же предмет при прямоугольных кромках подается обычным порядком;

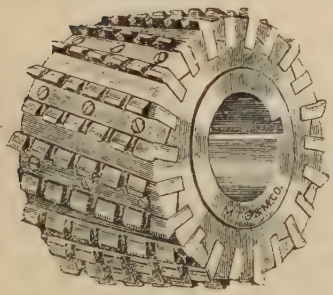


Фиг. 126.

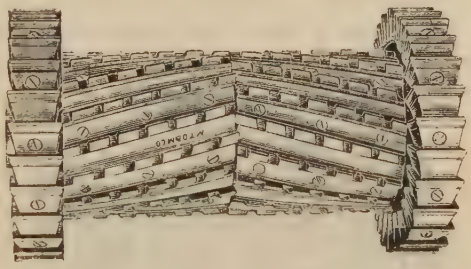
c) фрезы с горизонтальным расположением оси вращения, служащие преимущественно для обработки прямых поверхностей или поверхностей, имеющих сложный фигурный профиль (фиг. 127);

В последнем случае они (фиг. 110) образованы сложными поверхностями вращения с нарезанными по ним режущими ребрами;

d) фрезы сборные или так называемые „комплекты“ с горизонтальной осью вращения, служащие для обработки вместо строгания прямых, длинных и широких поверхностей. Они набираются в желательных комбинациях на общую оправку (фиг. 128).



Фиг. 127.



Фиг. 128.

VIII. По непосредственному назначению фрезы, представляя чрезвычайное разнообразие, разделяются на:

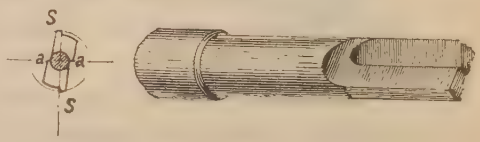
a) плоскостные, служащие для обработки плоскостей, — сюда относятся цилиндрические аксиальные (фиг. 109, 111, 113, 127), аксиально-радиальные и дисковые (фиг. 102, 103, 119, 125);

b) фрезы для обработки всевозможных поверхностей как прямых, так и криволинейных. Сюда относятся фасонные фрезы (фиг. 110, 115, 116, 126);

c) прорезные, имеющие своим назначением изготовлять прорезы определенной формы и размера, — к ним относятся дисковые (фиг. 102, 117, 121, 122, 124), радиально-лобовые (фиг. 101, 114, 120), пазовые (фиг. 129) и целый ряд других, как например шпоночно-канавочные (фиг. 130), прорезающие канавки торцем и боками за несколько проходов с постепенным углублением.

Фиг. 129.

Торцевые режущие лезвия направлены не радиально, а касательно к внутренней окружности. Здесь в пределах круговой зоны диаметра *d* резания не происходит и материал отжимается от кромки *aa*, соединяющей конечные точки режущих лезвий;

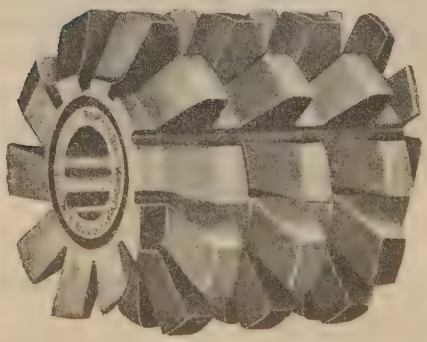


Фиг. 130.

d) фрезы для развертывания возможных опорных поверхностей и седел, как в клапанах, вентилях и пр.;

e) фрезы для нарезания винтовых нарезок по разным системам резьбы (фиг. 112), изготовляемые в виде цельных фрез с хвостиком, либо в виде насадных на оправку;

f) фрезы для приготовления пазов (канавок) у всевозможных инструментов, как например у разверток (фиг. 116), для нарезания канавок у спиральных сверл (фиг. 117), фрезы для нарезания трапецоидальной резьбы (фиг. 121) и т. п.;



Фиг. 131.

g) фрезы для изготовления зубцов у шестерней в виде так называемых модульных шерошек (фиг. 123), червячные фрезы для нарезки зубцов у шестерней и червячных колес (фиг. 131) и множество других.

Все фрезы последнего класса почти всегда делаются с зубцами американского профиля с заточенными по спирали задними гранями, — они очень устойчивы, допускают много заточек, но в то же время они и значительно дороже остроконечных.

Конструирование и расчет фрез.

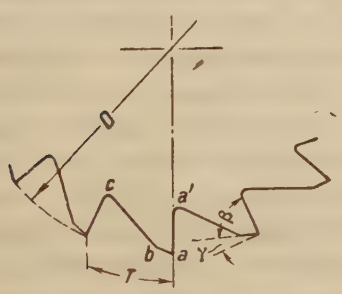
При конструировании фрез, выбор размеров их определяется в зависимости от целого ряда факторов, в числе которых экономические играют далеко не последнюю роль. Как мы уже упоминали ранее, aa' (фиг. 132) — есть передняя грань, $\overline{ab}$ — задняя, угол γ° — угол установа или задний, угол β^0 — угол заострения и $\alpha = \beta + \gamma^\circ$ есть угол резания, равный обычно 90°.

Формула, выражающая связь между числом зубцов и шагом, общеизвестна:

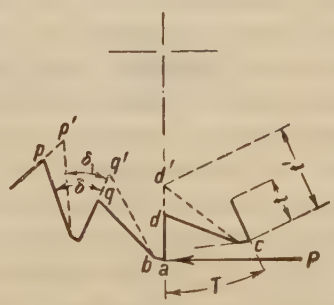
$$T = \frac{\pi D}{n}, \qquad 25$$

здесь n — число зубцов, T — шаг, D — диаметр фрезы.

Выбор величин шага основывается на том, что с увеличением его при одном и том же диаметре фрезы уменьшается число зубцов, понижается расход энергии, необходимой для отделения стружки,



Фиг. 132.



Фиг. 133.

улучшается выход последней благодаря увеличению свободного прохода для нее, но одновременно значительно понижается чистота работы и увеличивается опасность поводки (коробления) зубцов при закалке.

В практике фрезы изготовляются с расчетом на выполнение различных работ, почему величина шага выбирается средняя и измерением множества выполненных фабричных фрез для шага удалось вывести эмпирическую формулу:

$$T \cong 1{,}2\sqrt{D}. \qquad 26$$

Если пренебречь величиною $\overline{ab}$, которая обычно сравнительно мала (фиг. 133), то из треугольника adc можно вывести грубо

приближенную зависимость между величиной шага T и глубиною зубца t:

$$t \approx \frac{T}{tn\delta}, \qquad 27$$

где δ — угол наклона передней грани к нижней стороне dc. Увеличение глубины t вызывает увеличение площади $\triangle adc$ и улучшает выход стружки, однако одновременно с этим уменьшается угол δ, и сопротивляемость зубца также понижается, ибо

$$P \cdot t_1 > P \cdot t,$$

а значит поперечное сечение зубца у его корня, т. е. в месте излома убывает:

$$p_1 q_1 < \overline{pq}.$$

С увеличением глубины t и шага T возрастает производительность фрезы, увеличивается число возможных заточек, но зато возрастают величины сил P и Q, вызывающие изгиб фрезерной оправки. В силу этого отверстие для оправки во фрезе приходится делать значительно большим, а тем сам собою увеличивается и наружный диаметр фрезы. Однако увеличение диаметра фрезы влечет за собой больший расход материала — фреза выходит очень дорогой и вместе с тем не обеспечивает отсутствия прогиба оправки, если последняя не сделана очень толстой, а ширина самой фрезы — очень большой. Поэтому ввести какое-либо соотношение между силами P, Q, шагом T, высотою зуба t и наружным диаметром D фрезы, примирив все противоречия, оказывается теоретически совершенно невозможным.

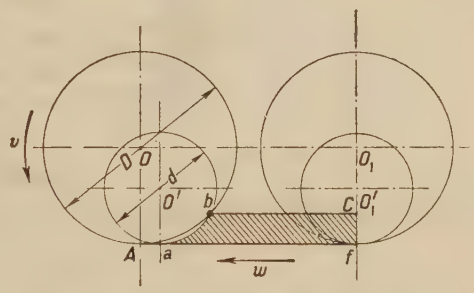
Величина диаметра фрезы зависит от характера ее работы, от способа ее закрепления и наконец от ее назначения. С экономической точки зрения, чем больше диаметр аксиальной фрезы, тем больше расход металла на ней, тем она дороже в изготовлении. Большие фрезы при сравнительно малой их ширине часто коробятся во время закалки и требуют чрезвычайных мер предосторожности. При нагревании для закалки больших фрез, они с трудом равномерно прогреваются и при охлаждении часто дают трещины, что еще более увеличивает стоимость их изготовления.

Количество работы, потребляемой фрезой во время фрезерования, также зависит от диаметра и особенно заметно оно в период входа ее в металл, когда еще не разрушена корка.

Предположим, что мы имеем две аксиальных фрезы диаметра D и d и каждая из них должна снять слой металла $abcf$ (фиг. 134). В момент начала резания центр большой фрезы будет находиться в положении O, а центр малой в положении O_1 и будет опережать центр большой фрезы на величину h.

Если фрезы, работая с одинаковой подачей, срезали положенный слой металла, то обе они при этом перешли в новые положения — первая в O', а вторая в O_1', пройдя своими центрами соответствующие пути OO' и O_1O_1'.

Путь, пройденный второй фрезой, окажется на величину h меньше пути большой фрезы и если в течение рабочего дня каждой из этих фрез придется совершать много одинаковых коротких проходов, то сумма избытков путей большой фрезы составит весьма значительную величину и тем большую, чем больше разница их диаметров.



Фиг. 134.

Следовательно время, потребное на снятие одинакового объема металла у большой фрезы, при равной подаче и ширине поля действия будет продолжительнее, а значит и с этой точки зрения она будет менее экономичной. В силу сказанного на практике оказывается выгодным осевые фрезы делать малого диаметра, как более дешевые в изготовлении и более экономичные в работе. Однако вследствие обстоятельств, указанных ранее относительно прогиба тонких оправок, такому уменьшению диаметра фрезы кладется предел тем, что диаметр расточки ее под посадку на оправку должен давать последнюю достаточной прочности.

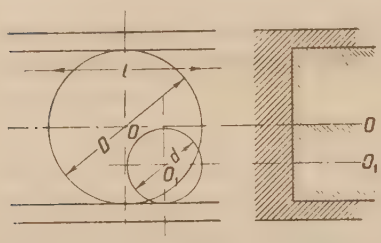
Глубина резания, т. е. величина углубления фрезы и толщина фрезы от верхушки зубца до окружности расточки под оправку дают основания к выбору необходимого диаметра фрезы. Обычно диаметры фрез такого типа делают в пределах от 60 до 120 *мм*, а в исключительных случаях они достигают размера 150—180 *мм*.

То, что справедливо для фрез аксиальных, оказывается совершенно обратным для фрез торцевых, работающих своей лобовой поверхностью.

Пусть имеем две торцевых фрезы O и O_1, диаметров D и d (фиг. 135), которые должны снять слой металла глубиной t на площади $D \cdot l$, при этом подача в направлении фрезерования остается постоянной в обоих случаях. Тогда фреза большого диаметра D пройдет своим центром за некоторый промежуток времени путь l и снимет весь необходимый слой металла, равный по объему

$$V = D \cdot l \cdot t.$$

Чтобы снять тот же объем металла V, фреза малого диаметра d, проходящая путь l в то же время, должна будет по ширине фрезерования D пройти этот путь несколько раз и потребует в данном случае времени во столько раз больше (в данном случае вдвое), во сколько D более d.



Фиг. 135.

Следовательно время работы ее при равных снимаемых объемах металла получается в пропорции обратной диаметрам

$$\frac{t_1}{t} = \frac{D}{d}. \qquad 28$$

Поэтому фрезы для лобовой фрезеровки поверхностей нужно делать большого диаметра. Величина диаметра в этом случае находится в зависимости от располагаемого станка и именно так, что наибольший диаметр будет тот, при котором станок, работающий с наименьшим числом оборотов, в состоянии сообщить ей наивыгоднейшую скорость резания.

На фрезе данного диаметра можно нарезать и большое и малое число зубцов, — чем число их больше, тем на долю каждого из них приходится меньшая нагрузка, тем чище получается работа и лучше сохраняются зубцы, следовательно дешевле обходится работа. Но при большом числе зубцов каждый из них получается меньше по размеру, впадины между ними значительно сокращаются (приблизительно пропорционально квадрату разности шагов) и выход для стружки значительно ухудшается; фреза быстро засаривается, забивается металлом и, переставая резать, сильно нагревается от излишнего трения; концы таких зубцов отпускаются и фрезу нужно перетачивать, а так как мелкий зубец допускает небольшое число заточек, то ее приходится скоро перерезать заново, а при малом диаметре и просто бросать.

Итак выгоды мелкого зубца поглощаются множеством его недостатков. Здесь, как и при выборе шага, практика установила для каждого диаметра более или менее определенное наивыгоднейшее число зубцов, при котором получается достаточно чистая поверхность, хороший выход для стружки и возможность многократной подшлифовки их без отпуска и перетачивания.

Таблица 12 [1]).

№№	D″	D мм	n европ.	n амер.	d″	d мм	δ°	T мм
1	2	45—50	28	18	$\frac{1}{2}$	12—13	42°	8 — 8,7
2	$2\frac{1}{2}$	55—60	32	21	$\frac{5}{8}$	16	44	9,1— 9,5
3	$2\frac{3}{4}$	65—70	34	22	$\frac{5}{8}$—$\frac{3}{4}$	19—22	46	9,7—10,2
4	3	75—80	35	23	$\frac{3}{4}$	22	47	10,2—10,5
5	$3\frac{1}{2}$	80—85	39	25	$\frac{3}{4}$	23	47	10,5—10,7
6	4	90—100	40	26	1	25—27	48	11,1—12
7	$4\frac{1}{2}$	105—110	43	28	$1\frac{1}{4}$	32	49	12,2—12,5
8	5	120—175	45	29	$1\frac{1}{4}$	32	49	13,5—13,8
9	$5\frac{1}{2}$	135—140	47	31	$1\frac{1}{4}$	32	49	14 —14,5
10	6	150—155	49	32	$1\frac{1}{2}$	38—40	49	14,7—15,6
11	$6\frac{1}{2}$	160—170	51	33	$1\frac{1}{2}$	38—40	50	15,8—15,9
12	7	170—180	54	35	$1\frac{3}{4}$	45	50	16 —16,4
13	$7\frac{1}{2}$	180—190	55	36	$1\frac{3}{4}$	50	50	16,4—17,2
14	8	190—205	57	37	2	50—60	51	17,5

[1]) В последнее время фрезы обоих типов делаются со значительно меньшим числом зубов. *Б. З.*

Мы видели, что практически шаг получается из формулы:

$$T \cong 1{,}2\sqrt{D}. \qquad 26$$

Если значение шага представить в формулу:

$$T \cdot n = \pi \cdot D,$$

то для числа зубцов n получается выражение:

$$n = \frac{\pi D}{T} = \frac{\pi D}{1{,}2\sqrt{D}} = \sim 2{,}6\sqrt{D}. \qquad 29$$

Это значение числа зубцов очень хорошо согласуется с данными лучших заводов и особенно для фрез с „американским“ профилем зубца.

Для фрез с „европейским“ зубом, число их, с округлением, получается из формулы:

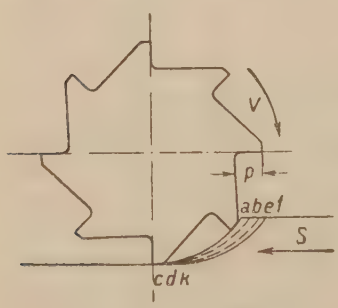
$$n = 4\sqrt{D}. \qquad 30$$

Из этих формул, задавшись диаметром, находят при конструировании фрезы число ее зубцов и обратно.

Предлагаемая таблица (стр. 91) дает средние соотношения между основными размерами для дисковых фрез, встречающихся в практике машиностроительных заводов и принятых большинством европейских и американских фабрик, производящих инструменты на продажу.

Направление вращения фрезы.

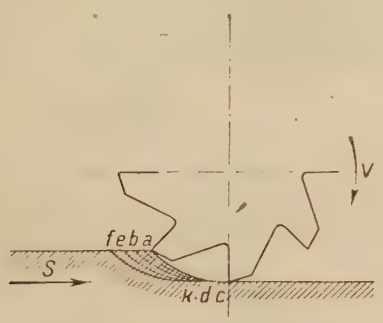
Всякая фреза может производить работу резания лишь тогда, когда имеется два движения — вращательное или рабочее, обязательно производимое самою фрезою, и поступательное (подача) вспомогательное, совершаемое фрезой или изделием. Рациональное использование свойств фрезы достигается определенным согласованием направления ее вращения с направлением подачи. Если фреза вращается в том же направлении, в каком совершается перемещение (подача) изделия (фиг. 136), то каждый ее зубец будет снимать стружку $abc = bcd = efK\ldots$ в сечении, имеющую форму полу-скобки. При этом вначале стружка будет толстой $ab = bc = ef\ldots$, а к концу она сходит на-нет.



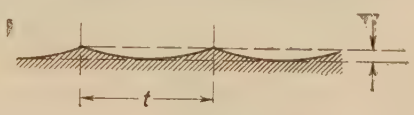
Фиг. 136.

Каждый зубец при такой работе должен сразу врубаться в металл всей своей широкой гранью p и будет испытывать сильные удары, отчего зубцы будут находиться в особенно неблагоприятных условиях, вырывая куски металла, главным образом при значительной подаче. Начиная забирать металл сверху, зубцы всегда встречают особо твердый его слой, получающийся от уплотнения при поковке или закаленную корку при литье. Это обстоятельство ставит работу зубцов в еще более неблагоприятные условия и влечет за собой быстрый износ и поломку их.

Если направление вращения фрезы наоборот противоположно направлению перемещения (подачи) изделия (фиг. 137), то зубцы начинают забирать стружку снизу, она так же имеет в сечении форму полускобки $abc = bcd = efK$, но вначале толщина ее весьма незначительна, а кверху (к выходу) становится все больше и на поверхности равна $ab = be = ef = \ldots$ Здесь зубцы нагружены слабее, и в случае наружной корки они ее легко подламывают снизу, не на-



Фиг. 137.



Фиг. 138.

рушая чистоты работы. Благодаря забиранию стружки с толщиною почти равной нулю, никаких толчков и ударов фреза не испытывает, и ход ее получается во всяком случае спокойный и плавный.

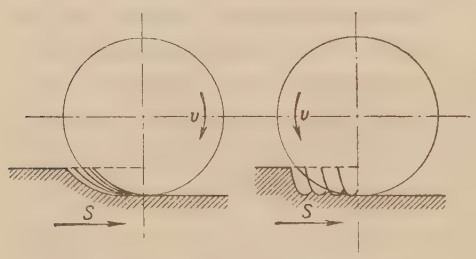
Из предыдущего мы знаем, что фреза концом любого своего зуба при работе описывает не окружность, а некоторую циклоиду и при небольшом числе зубцов, но при больших подачах и относительно малых скоростях резания, эти циклоиды на обрабатываемой поверхности, следуя одна за другой, образуют некоторые неровности (фиг. 138), которые тем значительнее, чем расстояния отдельных волн больше, т. е. чем больше подача и чем одновременно меньше число зубцов и число оборотов.

С увеличением числа оборотов и числа зубцов фрезы, величины t и h уменьшаются и поверхность получается чище. При одних и тех же прочих условиях фреза дает более чистую работу, т. е. ве-

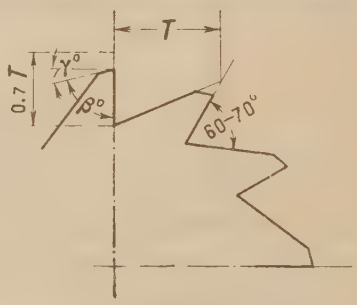
личина h уменьшается, если направление движения подачи и вращения будут различны (фиг. 139).

При одинаковом направлении вращения фрезы и подачи изделия циклоиды получаются менее пологими, пересечения их растянуты больше и значения h возрастают. Вот почему на практике вращению фрезы дают направление, обратное перемещению (подаче) изделия.

При конструировании фрез нужно различать фрезы с остроконечным, или „европейским", зубцом и фрезы со спиральной заточкой задней грани, или фрезы с зубцами „американского" профиля. Каждый вид профиля зубца имеет свои преимущества как и недостатки, поэтому применение европейского или американского зубца



Фиг. 139.



Фиг. 140.

раньше всего вызывается характером работы и назначением фрезы. Фрезы для обработки прямых и плоских поверхностей — по преимуществу с остроконечными зубцами, наоборот обработка фасонных и сложных поверхностей требует фрезы со спирально заточенными американскими зубцами.

Изготовлению остроконечной фрезы предшествует составление чертежа (фиг. 140).

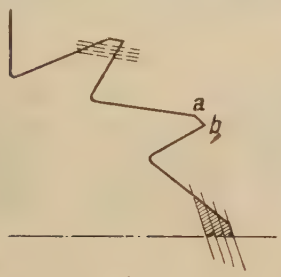
Необходимое число зубцов находится по формуле 30 или из специальных таблиц, при этом, если потребуется из конструктивных соображений, полученное число округляют.

Из диаметра и числа зубцов получается шаг фрезы.

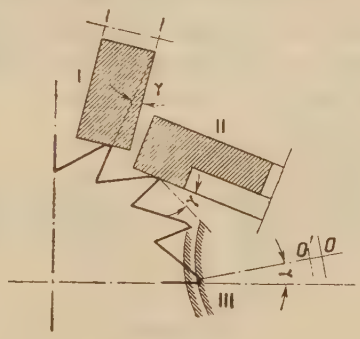
Чтобы зубцы допускали возможность многократных заточек и были достаточно прочными при работе, глубина впадин принимается равной 0,75 ÷ 0,78 шага и передняя грань зубца направляется по радиусу с таким расчетом, чтобы, срезав верхушку зубца задней плоскостью заточки, высота его равнялась $0{,}7T$, а угол резания $\beta^\circ + \gamma^\circ = 90^\circ$. Благодаря тому, что угол резания здесь

получается равным 90°, фреза работает снятием стружки скалывания, состоящей из отдельных коротких сдвинутых призматических сколков. Такие фрезы работают отлично, но лишь при условии, что их лезвия *b*, образованные в пересечении передних и задних граней, всегда дают острый угол β, и как только лезвие получит самое ничтожное закругление, его нужно немедленно заточить. Заточка зубцов производится плоскостями, параллельными *ab*, и большой новый зубец допускает 5—6 таких заточек, если они производятся своевременно, не допуская лезвия до значительного закругления (фиг. 141).

По мере стачивания зубцов длина задней грани увеличивается, а впадина зуба быстро уменьшается и уже после 3—4 заточек становится настолько малой, что фрезу нужно отжечь и перефрезеровать заново, если это допускает диаметр. Подшлифовывание фрез с остроконечным профилем производится тремя способами (фиг. 142).



Фиг. 141.



Фиг. 142.

Первый способ — цилиндрическим шлифовальным кругом, установленным к передней грани под углом γ°, дает параллельное срезывание грани *ab*, — она остается прямолинейной, зубец получается устойчивым (I).

Второй способ — чашковидным кругом, установленным под углом γ° к касательной образующего круга, — дает прямолинейную фаску *ab*, параллельную первоначальному положению, — зубец получается устойчивым (II).

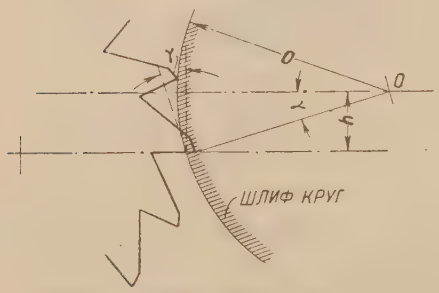
Третий способ — цилиндрическим кругом с осью вращения параллельно оси вращения фрезы, дает грани *ab* очертания кривой (чаще всего цилиндрическая поверхность) и чем больше диаметр круга, тем больше точка *a* приближается к окружности, проходящей через точку *b*. Уменьшение диаметра круга делает эту разницу больше, но зубец получается менее устойчивым (III).

Поэтому лучше применять два первых приема. При установке фрезы по отношению к кругу нужно соблюдать определенные соотношения.

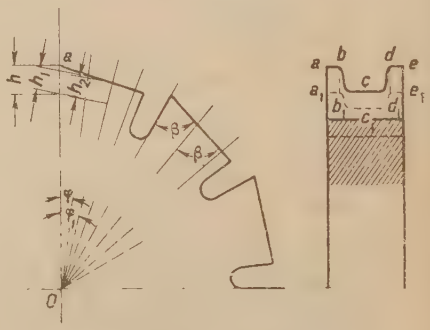
Если γ° есть угол задней заточки, D — диаметр шлифованного круга при работе по типу III или, что то же самое, диаметр фрезы при точке по II способу, то снос центра шлифовального круга H получается из уравнения (фиг. 143):

$$H = \frac{D}{2} \cdot \sin\gamma. \qquad 33$$

Если лезвие имеет фасонный профиль, не образованный прямыми линиями, то точная заточка фрезы с сохранением профиля режущего лезвия становится почти неосуществимой, если нет на то специальных приспособлений. Фрезы с остроконечными зубцами для выполнения фасонных профилей совершенно невыгодны и в этом случае заменяются зубцами со спиральной заточкой, гарантирующей сохранение профиля режущего лезвия и при дальнейшей перешлифовке. Это свойство зубцов с задней заточкой зависит от очертания, даваемого задней грани.



Фиг. 143.



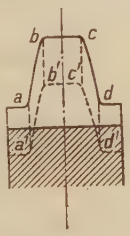
Фиг. 144.

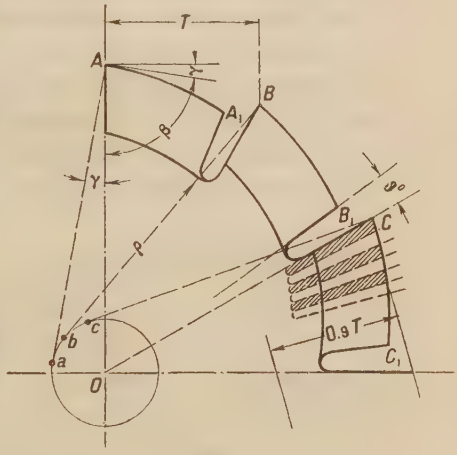
Если бы задняя грань зубца была заточена по прямой под углом γ° к передней грани, то профиль режущего ребра *abcde* в первоначальном положении определялся бы высотой h, представляющей собой расстояние точки c профиля от расположения точек a, b, d, e (фиг. 144).

После подшлифовки передней грани плоскостями 0—1, 0—2 и т. д. соответствующие высоты h_1, h_2 и т. д. изменились бы, укорачиваясь пропорционально $\cos\varphi$, $\cos\varphi'$ и т. д., и профиль режущего лезвия получался бы все более и более неправильным. Подбирание наклона плоскостей подшлифовки тоже ни к чему не привело бы, и такое очертание зубцов оказалось бы совершенно непригодным для точной работы. Следовательно до тех пор, пока

угол β, образуемый передней и задней гранями, получается при подшлифовке переменным, сохранить постоянный профиль режущего лезвия не представляется возможным. Сохранить профиль лезвия можно тогда, когда задняя грань представляет собой такую кривую, касательные к которой в любых точках дают постоянный угол β с соответствующим радиусом фрезы.

Как уже раньше указывалось (фиг. 97), это получается, когда очертание задней грани представляет логарифмическую спираль. Построение логарифмической спирали составляет значительные затруднения и ею пользуются для заточки лишь в случаях особой точности работы; вообще же заднюю грань затачивают по кривой, близко подходящей к данной спирали. При конструировании фрезы американского зуба раньше всего составляют чертеж. Разделив окружность фрезы шагом T на необходимое число делений, вычерчивают кривую задней заточки. Для этого в точке A (фиг. 145) строят угол $\gamma = 8 - 14°$ и к направлению стороны его строят нормаль Aa, к которой из центра O описывают касательную окружность: она и будет геометрическим местом центров тех окружностей, кои заменяют собой логарифмические спирали задних граней.



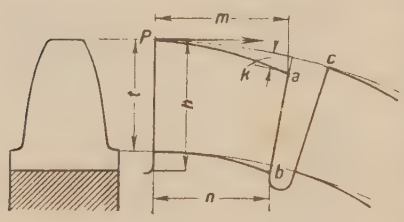


Фиг. 145.

Отрезки Aa, Bb, Cc ... служат радиусами для построения нужных очертаний. Полную высоту зубца по передней грани берут равной $0{,}9T$, а угол выреза ϑ, разделяющий два зубца, принимают в зависимости от резца, затачивающего кривизну, и от шлифовального круга, равным для больших фрез от 18 до 24° и для малых до 35°.

Промежутки между зубцами у новой фрезы выходят от $\frac{1}{5}$ до $\frac{1}{4}$ толщины зубца, что вполне обеспечивает свободный выход стружки. Как видно из чертежа, такие фрезы допускают чрезвычайно большое число заточек в радиальном направлении до тех

пор, пока толщина зубца не уменьшится по крайней мере до $\frac{1}{4}$ своей первоначальной величины, при этом угол заострения $\beta^\circ = 82 - 76^\circ$ все время остается постоянным, гарантируя полное тождество профиля режущего лезвия $abcd = a'b'c'd' = \ldots$ Вследствие такого построения „американского“ зубца, он получается вообще говоря прочнее, солиднее остроконечного и поэтому на одном и том же диаметре их получается несколько меньше, чем остроконечных. Вышеизложенное о зубцах со спиральной заточкой показывает, какие громадные преимущества имеют такие фрезы при массовом производстве, где при легкой и простой заточке одна и та же фреза может служить весьма долгое время, уменьшая расходы на изготовление инструмента и давая в то же время совершенно тождественные изделия, что особенно существенно при сложных фасонных профилях. Благодаря этим обстоятельствам фрезы с задней заточкой зубцов по спирали входят все больше и больше в распространение. Следует однако иметь в виду, что так как на данном диаметре число зубцов „американского“ профиля меньше, чем остроконечных, то работа, приходящаяся на каждый американский зубец, будет больше, усилие на снятие стружки возрастает, плавность работы несколько уменьшается и поверхность обработки получается несколько менее чистой. Однако при большей устойчивости „американского“ зубца они допускают, при общих равных условиях, большую скорость вращения, а с ней уменьшается толщина стружки на один зубец, сокращается расход энергии на ее снятие и благодаря этому достигается необходимая чистота работы, — таким образом и этот их на первый взгляд кажущийся недостаток сам собой отпадает. Единственным недостатком фрез американского профиля нужно считать трудность изготовления у них зубцов со спиральным направлением лезвия в отношении оси вращения, но и эти недостатки только относительные.



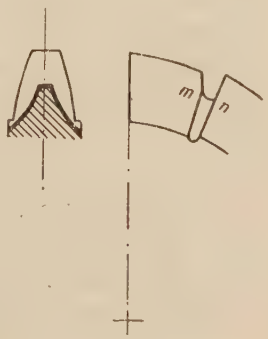
Фиг. 146.

Сравнительная дороговизна фрез со спиральной заточкой задней грани побуждает к постоянному стремлению еще более усиливать их, делая зубцы более стойкими и упругими. Так как высота профиля t всегда зависит от формы обрабатываемой поверхности, то глубина прореза h не может быть сделана произвольно

(фиг. 146) — она всегда находится в связи с величинами t и k и постоянно делается более суммы их.

Чем больше глубина прореза h, тем тоньше получается нижняя часть зубца mi, тем слабее выходит его конструкция, тем больше получается ломающий момент $M = Ph$.

Чтобы еще больше усилить зубец, некоторые фирмы делают прорез не сквозным, а с перепонкой mnp (фиг. 147), причем остающаяся перепонка рассчитывается так, чтобы выход для стружки был еще вполне доступным.



Фиг. 147.

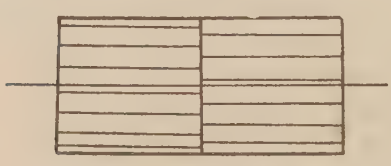
Трудность подшлифовки таких фрез, требующая двух и даже трех шлифовальных проходов и значительно менее благоприятный выход для стружки, мешает распространению такого рода зубцов.

Фрезы со спиральным направлением лезвия.

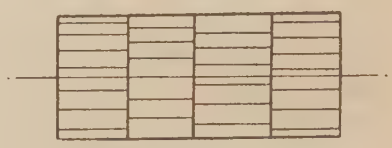
Все соображения, которые были положены в основу сказанного выше о фрезах, были сделаны в предположении, что направление режущего лезвия перпендикулярно к направлению подачи ее, т. е. лезвия параллельны оси вращения фрезы. В практике лезвия имеют часто и другие направления и в частности они располагаются по винтовым линиям на поверхности вращения. При небольшом числе зубцов давление на каждый зубец у фрез получается сравнительно большим, а в силу того, что прямой зубец, в особенности при значительной его длине, сразу на всем протяжении лезвия входит в материал и сразу же из него выходит, при вступлении в работу каждого зубца получаются сильные удары, изменяющие расположение действующих сил, и вызывают неизбежные сотрясения, еще более повышая расход энергии и ухудшая, благодаря заеданию, качество обработки. Уменьшить этот недостаток можно увеличением числа зубцов, но это вызывает ряд новых неудобств (плохой выход стружки, ослабление зубцов) и вопроса отнюдь не разрешает. Если вместо одной аксиальной длинной фрезы с определенным числом зубцов (фиг. 148) взять две фрезы меньшей длины и оставить их так, чтобы зубцы их оказались сдвинутыми, т. е. чтобы лезвия левой половины попали в промежутки между зубцами правой половины, то такая фреза, вращаясь на общей оправке, будет давать в

единицу времени вдвое большее число ударов, но зато и сила их будет вдвое слабее.

Если, продолжая деление фрезы на части, каждую часть поворачивать в отношении предыдущей на угол, равный той части угла шага, какую часть от общей длины фрезы составляет элементарная фреза, то при вращении всех их на общей оправке будет получаться бесконечно большее число ударов, которые сами по себе



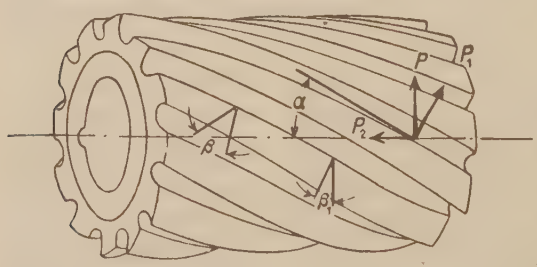
Фиг. 148.



Фиг. 149.

будут бесконечно слабой силы, — иначе говоря, такая фреза будет работать совершенно плавно и спокойно (фиг. 149), производя как бы непрерывное резание.

Но приготовление такой составной фрезы со сдвигом зубцов было бы и дорого и нерационально, так как в местах сопряжения отдельных элементарных фрез получался бы заметный шов (фуга), поэтому вопрос разрешается иным путем.



Фиг. 150.

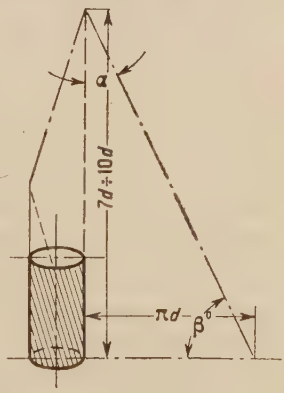
Если вообразить, что начала отдельных зубцов каждой последовательной фрезы соединены по цилиндрической поверхности закономерной линией, то она окажется пологой спиралью. Этой линией и пользуются для получения непрерывной работы зубцов и для осуществления плавного и спокойного хода фрезы. Такие зубцы строятся в виде очень пологой винтовой линии навернутой на цилиндрическую поверхность, причем передняя часть зубца в любой точке спирали имеет радиальное направление, а задняя образует с касательной к цилиндрической поверхности постоянный угол (фиг. 150).

Преимущество спиральных лезвий заключается в том, что каждый зубец постепенно входит в материал и постепенно из него

выходит так, что когда один зубец не успел выйти из материала, другой уже частично вошел в него.

Таким образом никаких ударов не ощущается — фреза работает плавно; благодаря тому, что угол заострения в сечении, перпендикулярном к направлению лезвия, равен β, а в сечении, перпендикулярном к оси вращения — β_1, и последний всегда меньше первого, такая фреза легче снимает сильную стружку, ибо угол резания ее уменьшен без ослабления зубца. Сила P, вращающая фрезу при прямом зубце, направлена перпендикулярно к лезвию и целиком соответствует вращающему моменту $M = P \cdot r$, — у фрезы со спиральным зубцом она разлагается на P_1, изгибающую зубец, и P_2, сдвигающую стружку в сторону; так как последняя давит на зубец, то получается равная ей противоположная сила P_2, которая сдвигает фрезу в осевом направлении.

Так как осевой сдвиг, т. е. сила P_2, растет с увеличением угла наклона спирали α°, то уменьшением последнего этот недостаток фрезы можно довести до крайнего минимума и сделать его нечувствительным. Американские инструментальные заводы берут для этого угла значения в пределах от 17 до 25°, а большинство европейских заводов эти значения понижают еще более и берут α° в пределах от 8 до 15°.



Фиг. 151.

Для построения направления спиральной линии лезвий зубцов у обыкновенной аксиальной фрезы с зубцами на цилиндрической поверхности, берут прямоугольный треугольник с малым катетом, равным длине окружности фрезы (πd), и большим катетом, равным $7d$, тогда угол при вершине треугольника

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\pi d}{7d} = 0{,}44879,$$

$$\underline{\alpha^\circ = 24^\circ 10'}.$$

Если такой треугольник навернуть на цилиндр, то гипотенуза образует направление спиральных лезвий зубцов с длиной шага спирали $7d$ и углом с направлением оси в 24°10′ (фиг. 151).

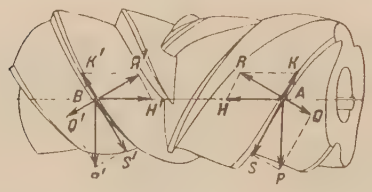
Если фреза имеет еще зубцы на торцевой поверхности, то для условия углов пересечения осевых и лобовых зубцов шаг спиральной линии берется равным 10 α, угол β° увеличивается пропорцио-

нально, а угол α° уменьшается и величина его получается равной

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{\pi a}{10d} = 0 \cdot 31456$$

$$\alpha^\circ = 17^\circ 30'.$$

Если осевой сдвиг должен иметь направление к станку, фрезе нужно давать левое вращение, однако это почти не имеет значения, если угол спирали не превышает 25°. Но коль скоро этот угол увеличивается, а в практике он часто достигает и 45°, то осевое давление становится чрезвычайно большим. Уничтожение его влияния достигается тем, что фрезу делают из двух частей соединенных в зуб (фиг. 152), каждая половинка имеет зубцы с равным подъемом, причем правая имеет зубцы — правые, а левая — левые. В силу такого расположения зубцов сила P вращения в точке A разложится на силу Q, давящую на металл, и силу S, сдвигающую стружку.



Фиг. 152.

Сила Q вызовет противодействие со стороны металла на зубец, равное R, которое в свою очередь разложится на H, давящую в направлении оси вращения, и на силу K, сгибающую стружку. В результате действия их — силы S и K, как противоположные, сложатся в одну направляющую по S и сведутся к силе H, направленной по оси вращения, и к силе Q, снимающей слой металла.

Так как у левой половины направление лезвий обратное, то и все силы, действующие в точке B — S_1, H_1 и Q_1 будут равны, но прямо противоположны силам правой половины. Таким образом вдоль оси будут действовать две равные и прямо противоположные силы H и H_1, т. е. фреза осевого давления испытывать совершенно не будет. Это дает возможность нагружать станок значительно больше, используя двухстороннюю фрезу для снятия толстой стружки. В силу этого такая фреза дает большую производительность и практика присвоила им название фрез „высокой производительности“. Конструктивные особенности этих фрез однако таковы, что число зубцов у нее на том же диаметре получается значительно меньше, чем у фрезы с обыкновенной спиралью, но, как показали опыты, такие фрезы дают очень чистую работу и их громадная производи-

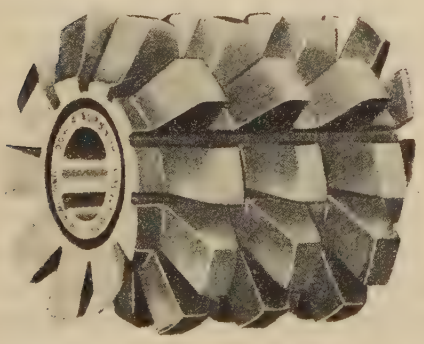
тельность при небольшой затрате энергии обеспечивает им самое широкое распространение.

Употребляемые для обдирочных работ, они обычно изготовляются следующих размеров:

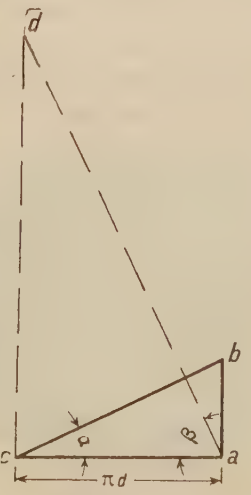
Таблица 13.

№	Диаметр сверления *мм*	Наружный диаметр *мм*	Длина фрезы *мм*	Число зубцов
1	28	70	120	10
2	32	85	150	10
3	40	100	180	10
4	50	130	220	12

Приготовление фрез со спиральным лезвием, вообще говоря, выходит значительно дороже, чем фрез с прямым лезвием, а трудность шлифовки (точки) их, если зубцы сделаны по американскому профилю, приводят к тому, что фрезы спирального лезвия с американским зубцом делают в самых редких и исключительных случаях, как например — червячные фрезы, профиль которых состоит из одинаковых повторяющихся витков (фиг. 153).



Фиг. 153.



Фиг. 154.

Эти фрезы служат почти исключительно для нарезки зубчатых колес. Наклон спирали, прорезной канавки, по которой прорезаются все зубцы фрезы для образования лезвий, здесь берется перпенди-

кулярным к винтовой линии. Построение этого наклона осуществляется весьма просто. Если ab есть шаг червяка, D — его диаметр, то угол $acb = \alpha^\circ$ есть угол подъема винтовых ниток червяка (фиг. 154).

Построим в точке „c“ перпендикуляр к „ac“ и из точки „a“ опустим перпендикуляр на „cb“ до пересечения в „d“ с прямой „cd“, тогда „cd“ представит собой величину подъема спирали, прорезающей зубцы фрезы, а угол β° будет ее наклоном.

Направление прорезных канавок для образования лезвий параллельно оси вращения — невыгодно, оно влечет за собой то, что у зубца угол резания по одной боковой грани „aa“ (фиг. 153) получается меньше 90°, а по другой „bb“ он выходит более 90° и поэтому фреза не режет металл, а снимает его или в лучшем случае скоблит. Направление прорезанной канавки, перпендикулярное к направлению винтовой линии фрезы, для обеих граней режущих кромок дает постоянный угол резания, равный 90°.

Фрезы со вставными зубцами.

При изготовлении больших фрез из куска, помимо значительного расхода на дорого стоящую инструментальную и быстрорежущую сталь, получаются еще крупные затруднения при закалке и дальнейшей их обработке. Сравнительно незначительная поводка зубцов уже влечет за собой большой расход на исправление и переделку, а трещины в металле после закалки вызывают неизбежные потери и в стоимости работы и в стоимости израсходованного материала. Закалить большую фрезу так, чтобы вся длина зубца на одну и ту же его толщину была одинаково тверда, очень трудно, а между тем, если затупился конец хотя бы одного зубца, фрезу нужно точить заново целиком. Все это вместе взятое побуждает к изготовлению фрез из нескольких составных частей.

В отличие от разъемных, у которых однородное тело фрезы разделено на несколько частей, представляющих отдельные самостоятельные фрезы, так называемые фрезы со вставными зубцами изготовляются в виде основной державки „головки“ из машиноподелочной стали, в которую вставляются отдельные зубцы из кусочков быстрорежущей стали. Такие фрезы имеют громадное преимущество в стоимости затрачиваемого материала; изготовление их в виду простоты составных частей оказывается также не дороже цельных, а надежность и равномерность закалки зубцов, делает применение

этих инструментов в высшей степени желательными. Такие фрезы при затуплении одного или нескольких зубцов оказываются работоспособными благодаря легкости замены их новыми запасными зубцами.

Обычно зубцам придают такую форму, что большое число их может быть выполнено сразу с одного постанова, почему они все выходят совершенно тождественными и взаимозаменяемыми. Материалом для изготовления зубцов служит обыкновенно полосовая быстрорежущая сталь толщиной от 4 до 8 *мм* (в среднем 6 *мм*) и приготовленные соответствующим образом зубцы укрепляются в незакаленной головке, что значительно упрощает сборку. Единственным недостатком фрез со вставными зубцами является трудность изготовления спиральных фрез, но и это затруднение устраняется тем, что зубцы изготовляют не ножевидной формы, а резцеобразной, причем расположить их в отдельных гнездах по спиралям уже оказывается очень легко. Ножевидные зубцы в приближение к спиральным располагают в виде косого лезвия, что при относительно коротких фрезах оказывается вполне допустимым и мало влияющим на чистоту работы.

Дисковые фрезы.

Наиболее часто фрезы со вставными зубцами изготовляются в виде дисковых (фиг. 155). Здесь зубцы, изготовленные из полосовой стали, точно прошлифованы со всех сторон и вделаны в соответствующие пазы цилиндрической оправки, выточенной из углеродистой стали, из машиноподелочной или из чугуна. Ножи вставлены очень прочно в пазы, кроме того еще удерживаются при помощи клиньев или конусовых шпилек, засверленных через узкие прорезы; при посредстве этих прорезов забитые накрепко шпильки сжимают зубцы и делают всю систему весьма солидной. Зубцы рассматриваемой конструкции направлены радиально и режут тремя лезвиями, расположенными по цилиндрической поверхности и на двух боковых.

Фиг. 155.

Заточка ведется обыкновенно параллельными плоскостями, как у остроконечных зубцов.

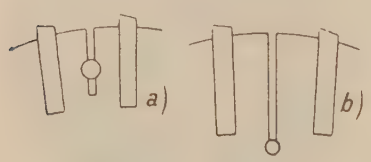
В большинстве случаев такие фрезы нормализованы и их готовят следующих размеров.

Таблица 14.

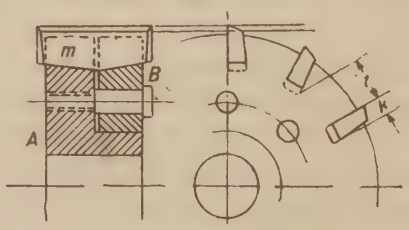
№№	Диаметр в *мм*	Число зубцов	Ширина в *мм*	Число шпилек	Толщина ножа
1	150	14	50	7	5
2	175	16	50	8	5
3	200	20	60	10	6
4	225	22	65	11	6
5	250	24	70	12	7
6	300	28	80	14	8

Число зубцов у таких фрез выбирается из конструктивных соображений, так чтобы шаг по окружности, ограничивающей нижний конец зубца, был достаточен для изготовления прореза и вставления шпильки. Чтобы шпилька лучше держала, ее иногда ставят не перпендикулярно к боковой (торцевой) поверхности, а несколько наискось (фиг. 156).

Такой тип закрепления зубцов оказывается вполне удовлетворительным для сравнительно нешироких фрез; при ширине зубца свыше 80 *мм* применяются иные способы закрепления (фиг. 157).



Фиг. 156.



Фиг. 157.

Здесь головка состоит из державки *A* и прижимного кольца *B*, в которых профрезерованы клиновидные пазы.

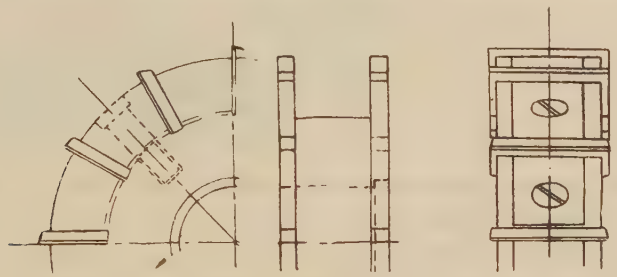
Ножи „*m*“ имеют тождественное утолщение книзу и опорная их поверхность срезана наискось в обе стороны, так что при стягивании головки и кольца клиновидные зубцы очень прочно

защемляются в пазах и сбиться в сторону не могут. В этом случае шаг t по внутренней поверхности берется по формуле:

$$t \geqslant 2k.$$

Такое закрепление зубцов применяется у фрез диаметром более 200 *мм* при ширине зубцов свыше 80 *мм* для особо тяжелых работ. Фрезерование пазов в головке составляет значительные трудности и требует большой тщательности.

К числу весьма распространенных способов закрепления зубцов относится соединение на так называемых сухарях (фиг. 158). Здесь державка в виде головки имеет посредине проточку прямоугольного профиля, которая прорезана поперечными пазами для ножей. Между



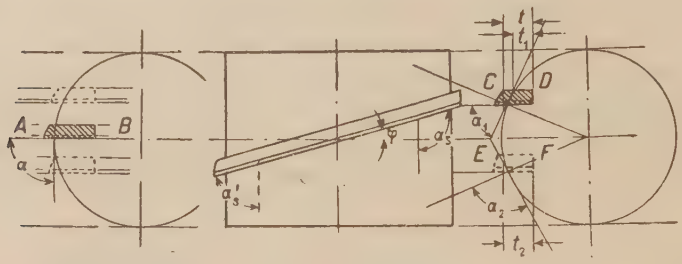
Фиг. 158.

каждой парой ножей в пространство вставляются сухарики, которые, притягиваясь к головке шурупами, защемляют фрезерные ножи настолько прочно, что они остаются во время напряженной работы совершенно неподвижными.

Однако такая конструкция еще уменьшает число зубцов и поэтому, несмотря на свою простоту, употребляется сравнительно реже других.

При значительной ширине лезвий усилие на зубцы получается очень большим, а так как число вставных зубцов всегда меньше, чем их получилось бы на том же диаметре у цельной фрезы, то толчки и удары у сборных фрез оказываются еще ощутительнее и работа в силу этого не может получиться такой чистой. Это обстоятельство заставляет искать путей для получения высокой чистоты работы и у сборных фрез и после целого ряда конструктивных проб, привело к устройству сборных фрез со спиральными зубцами. В виду больших затруднений при изготовлении вставных зубцов со спиральными лезвиями такие фрезы упрощают тем, что широкие ножи заменяют несколькими отдельными зубцами, состоя-

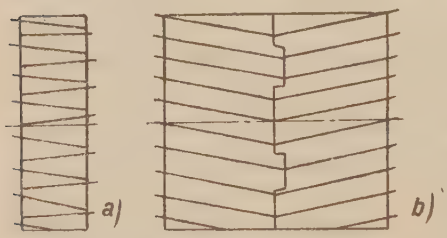
щими из квадратной или круглой стали,— расположить их спирально у широкой фрезы в разгонку по цилиндрической поверхности не представляет труда. Ножевые же зубцы вместо спирали делают в виде так называемых „косых“, т. е. располагают их под углом к образующей цилиндрической поверхности (фиг. 159).



Фиг. 159.

В этом случае глубина прямого прореза цилиндра в разных местах фрезы получается различной (t, t_1, t_2); различными получаются и углы наклона передней грани, в силу чего и величина угла резания получается различной.

Если прорез сделать так, чтобы передняя часть ножа AB в середине его длины была радиальной, то угол резания α в этом сечении будет 90°, но во всех сечениях налево (EF) он будет $\alpha_2 > 90°$, т. е. будет скоблить материал, а во всех сечениях направо (CD) он будет $\alpha_1 < 90°$ и будет резать хорошо, но окажется в то же время слабым. При небольшой ширине фрезы и малом угле наклона $\varphi°$ этот недостаток мало заметен, — фреза работает чисто и спокойно, но при значительных ширинах фрезы или при большом φ этот недостаток оказывает сильное влияние на чистоту работы. Вторым не менее важным недостатком является то, что углы резания лезвий, расположенных по боковым поверхностям, тоже не равны; с левой стороны все лезвия имеют угол резания $\alpha'_s < 90°$, а справа $\alpha_s > 90°$. Этого можно избежать тем, что зубцам дают попеременно чередующийся то вправо, то влево наклон (фиг. 160a), причем боковые грани получают режущие



Фиг. 160.

лезвия через один зубец, но при этом на боковых гранях получается мало зубцов.

Если фрезы достаточно длинны, то их делают составными из двух частей, причем зубцы в каждой половине наклоняют в разные стороны (фиг. 160*b*).

Спиральное расположение лезвий у фрез со вставными зубцами проще всего достигают тем, что вместо ножей приготовляют круглые вставные резцы (фиг. 161), плотно забиваемые в отверстия головки, расположенные по винтовым линиям. В каждом спиральном ряду резцы расположены так, что они смещены по отношению к соответствующим резцам предыдущего ряда на некоторую величину „*h*“, в силу чего спаек при резании не получается. Закрепление резцов выполняется при помощи конусовых штифтов со снятой с одной стороны фаской или при помощи штифтов, входящих в канавку каждого резца.

Фиг. 161.

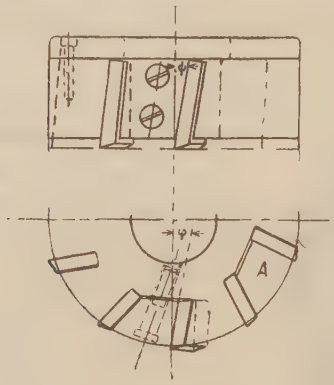
Такие фрезы, собранные в виде фрезерной головки, прошлифовываются сначала поверху для получения правильного цилиндрического расположения зубцов, а затем по направлению спиральной канавки для образования передней и задней грани угла заострения.

Фрезы торцевые.

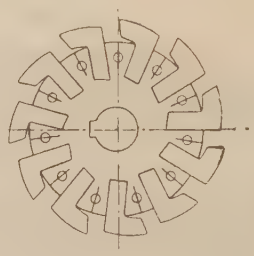
Изготовляются обычно по типу фрез (фиг. 157, 158), употребляемых для обработки прямых поверхностей, как дисковые. В последнее время появились конструкции, в которых зубцы на торцевой поверхности стали направлять не радиально, а под некоторым углом к радиусу φ с уклоном на цилиндрической поверхности φ,— в силу этого угол резания как на торце, так и по всей длине боковой зубца получается постоянным и менее 90° (фиг. 162). Угол φ при этом делают до 15° и угол уклона в направлении образующей φ от 5 до 8°.

Способ укрепления зубцов при помощи сухариков и шурупов хорошо виден из рисунка. Сухарики *A* следуют через один зубец

и вставляются в профрезерованное в головке клиновидное углубление. Сверху зубцы удерживаются кольцевой накладкой *B*, прижатой болтами к телу головки. Весьма дешевая и очень точная в работе аксиально лобовая фреза (фиг. 163) с косыми зубцами по цилиндрической поверхности и радиальными или заточенными под углом на торце применяется для тяже-



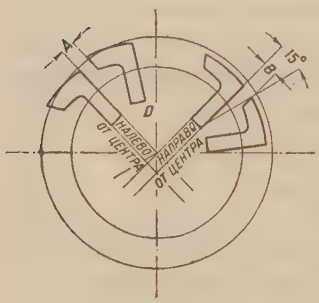
Фиг. 162.



Фиг. 163.

лых работ на заводе Шкода (Scodawerk). Ножи здесь изготовлены из стали углового профиля и работают как зубцы со спирально заточенными затылками.

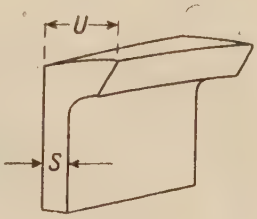
На отдельной головке (правая половина фиг. 164), вырезы которой сдвинуты на 15° относительно пазов постоянной рабочей головки, собранные ножи обточены по цилиндру и после закалки еще прошлифованы. Прорезы (левая половина фиг. 164) рабочей головки сделаны так, что задняя плоскость ножей направлена по радиусам, а передняя снесена параллельно радиусу на толщину материала ножа.



Фиг. 164.

Прорезы головки — приспособления сделаны наоборот, т. е. передняя плоскость по радиусу, а задняя снесена параллельно на ту же величину направо. Ножи, вставленные в пазы рабочей головки, получают наклон назад около точки *D*, почему задняя грань выходит, как у спирально заточенной фрезы. Шлифовка производится плоскостями, параллельными направлению радиусов (радиально), проходящих через заднюю плоскость ножей.

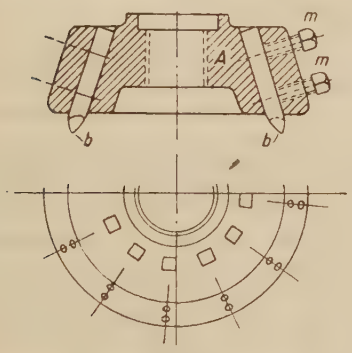
Толщина металла для ножей берется (фиг. 165) от 6 до 12 *мм*, а длина отогнутого лезвия в зависимости от диаметра фрезы выбирается от 15 до 25 *мм*. Приготовление таких фрез просто и дешево и работают они весьма чисто и спокойно.



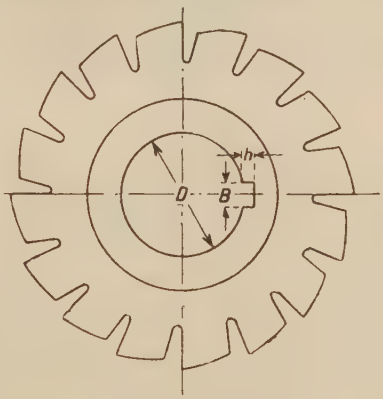
Фиг. 165.

Для обработки плоских поверхностей на вертикально фрезерных станках, кроме рассмотренных типов фрез, употребляются еще фрезы, составленные из отдельных круглых или прямоугольных резцов (фиг. 166).

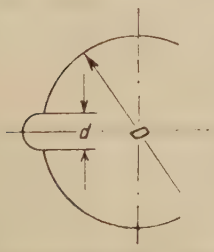
В теле головки *A* просверлены и продолблены отверстия для резцов, которые располагаются по окружности под углом к оси вращения. Резцы укрепляются помощью упорных болтов *mm* и собранные в закрепленном виде на головке, они сразу затачиваются с соблюдением углов резания и установа.



Фиг. 166.



Фиг. 167.



Фиг. 168.

При посадке фрезы на оправку последняя должна передавать фрезе вращательное движение, воспринимая от нее соответствующие усилия и моменты. Такая посадка производится помощью шпонок, канавки для коих во фрезах делаются нормальными и двух типов (фиг. 167 и 168), а именно прямые и полукруглые. В размерах, исполняемых разными заводами существовала до последнего времени большая пестрота, каковая изживается введением стандартов. Выдержки из общесоюзного стандарта (ОСТ) приведены на табл. 15.

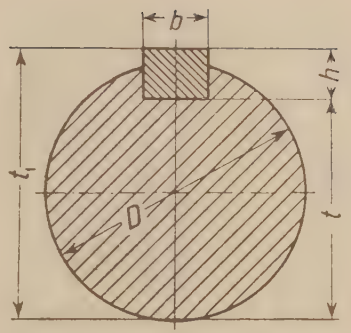
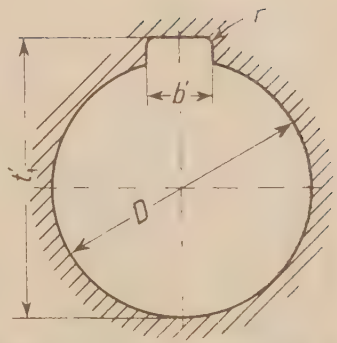


Таблица 15.

1. При необходимости пользоваться большими диаметрами рекомендуется брать диаметры 60, 70, 80, 100 *мм*, детали креплений для этих диаметров не нормируются. 2. Для размеров t_1 и r отклонения могут быть лишь в меньшую сторону; для размеров t_1' и b' отклонения могут быть лишь в большую сторону; величины отклонений для t_1, r, t_1' и b' не нормируются.



Номинальный диаметр D	Допускаемые отклонения		Заделка шпонки			Шпонка			Паз	
	для отверстия	для оправки	t_1	t_1'	t	b наиб.	b наим.	h	b'	r
10	+ 0,015	— 0,010	11,2	11,5	8,2	3,04	3,0	3	3,06	0,3
13	+ 0,018	— 0,012	14,2	14,6	11,2	3,04	3,0	3	3,06	0,4
16	+ 0,018	— 0,012	17,2	17,7	13,2	4,05	4,0	4	4,08	0,5
22	+ 0,022	— 0,015	23,6	24,1	17,6	6,05	6,0	6	6,08	0,5
27	+ 0,022	— 0,015	28,6	29,4	22,6	6,05	6,0	6	6,03	0,8
32	+ 0,025	— 0,018	34,0	34,8	28,0	8,05	8,0	6	8,20	0,8
40	+ 0,025	— 0,013	42,5	43,5	35,5	10,06	10,0	7	10,10	1,0
50	+ 0,025	— 0,018	52,5	53,5	44,5	12,06	12,0	8	12,10	1,0

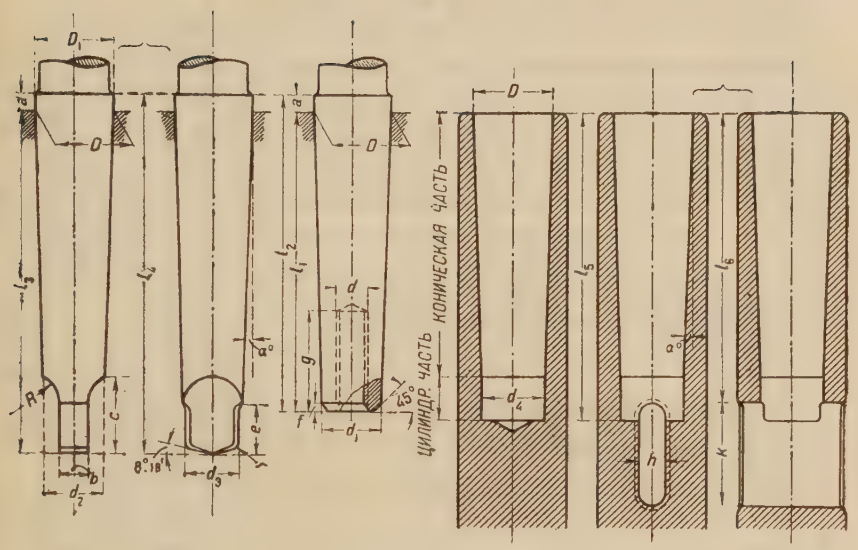


Таблица 16.

Конуса (хвостовики) с лапкой (*мм*)													
№ конуса		D	D_1	d_2	d_3	l_3	l_4	a	b	c	e	R	r
Морзе	0	9,045	9,212	6,115	5,9	56,3	59,5	3,2	3,9	10,4	6,4	4	1,0
	1	12,065	12,239	8,973	8,7	62,0	65,5	3,5	5,2	14,5	9,5	5	1,25
	2	17,781	17,981	14,060	13,6	74,5	78,5	4,0	6,3	17,1	11,1	6	1,5
	3	23,826	24,052	19,133	18,6	93,5	98,0	4,5	7,9	21,3	14,3	7	2,0
	4	31,269	31,544	25,156	24,6	117,7	123,0	5,3	11,9	24,9	15,9	9	2,5
	5	44,401	44,732	36,549	35,7	149,2	155,5	6,3	15,9	30,0	19,0	11	3,0
	6	63,350	63,762	52,422	51,3	209,6	217,5	7,9	19,0	45,6	23,6	17	4,0
Метрич.	80	80	80,4	69	67	220	228	8	62	74	24	23	5
	100	100	100,5	87	85	260	270	10	32	58	28	30	6
	120	120	120,6	105	103	300	312	12	38	68	32	36	6
	140	140	140,7	123	121	340	354	14	44	78	36	42	8

Таблица 16а.

№ конуса	Конуса (хвостовики) без лапки (*мм*)									Втулки (гнезда) (*мм*)				
	D	D_1	d	d_1	l_1	l_2	a	f	g	d_4	l_5	l_6	h	k
Метрич. 4	4	4,1	—	2,85	23	25	2	0,5	—	3,0	25	21	2,5	8
„ 6	6	6,15	—	4,4	32	35	3	0,5	—	6,4	34	29	3,5	12
Морзе 0	9,045	9,212	—	6,401	50,8	54,0	3,2	1,0	—	6,7	51,9	49	4,1	14,5
„ 1	12,065	12,239	6 *мм*	9,371	54,0	57,5	3,5	1,0	15	9,7	55,5	52	5,4	18,5
„ 2	17,781	17,981	10 *мм*	14,534	65,0	69,0	4,0	1,5	20	14,9	66,9	63	6,6	22,0
„ 3	23,826	24,052	1/2″	19,760	81,0	85,5	4,5	2,0	25	20,2	83,2	78	8,2	27,5
„ 4	31,269	31,544	5/8″	25,909	103,2	108,5	5,3	2,0	30	26,5	105,7	98	12,2	32,0
„ 5	44,401	44,732	3/4″	37,470	131,7	138,0	6,3	3,0	40	38,2	134,5	125	16,2	37,5
„ 6	63,350	63,762	1″	53,752	184,1	192,0	7,9	4,0	50	54,8	187,1	177	19,3	47,5
Метрич. 80	80	80,4	1 3/8″	70,2	196	204	8	5	60	71,4	200	186	26,3	52
„ 100	100	100,5	1 3/8″	88,4	232	242	10	6	60	89,9	237	220	32,3	60
„ 120	120	120,6	1 3/8″	106,6	268	280	12	6	60	108,4	274	254	38,3	68
„ 140	140	140,7	1 1/2″	124,8	304	318	14	8	65	126,9	310	286	44,3	76

Конуса (хвостовики) и втулки (гнезда)									
№	Метрич. 4 и 6	Морзе 0	Морзе 1	Морзе 2	Морзе 3	Морзе 4	Морзе 5	Морзе 6	Метрич. 80, 100, 120, 140
Конусность	1:20=0,05	1:19,212=0,05205	1:20,048=0,04988	1:20,020=0,04995	1:19,922=0,050196	1:19,254=0,051938	1:19,002=0,052626	1:19,180=0,052138	1:20=0,05
Угол α	1°25′56″	1°29′26″	1°25′44″	1°25′49″	1°26′15″	1°29′15″	1°30′25″	1°29′35″	1°25′56″

Фрезы малых диаметров, а также целый ряд специальных фрез обыкновенно делают с хвостом, имеющим на конце коническую форму. Этот конический хвост вставляется прямо или при помощи конической переходной оправки в специальное коническое же отверстие в шпинделе фрезерного станка. Большинство крупнейших и лучших европейских и американских заводов делают коническое отверстие в шпинделях фрезерных станков по определенным нормалям, а именно по конусам Морзе и метрическим.

Однако некоторые европейские заводы, особенно в Германии, нередко употребляют свои собственные размеры для конусов; наиболее распространенные конуса: Морзе, Броун и Шарп, метрический, Вандерер и др.

И здесь, как и по отверстиям для фрезеров, за последние годы проведена большая работа по стандартизации как за границей, так и в СССР. Нормы конусов по ОСТ см. на табл. 16, причем они совпадают с Германскими нормами.

К числу нормализованных инструментов относятся модульные шарошки для нарезания зубчатых колес. Каждый комплект шарошек (фрез) одного модуля состоит из 8 штук, используемых определенным порядком.

Таблица 17.

№ фрез	1	2	3	4	5	6	7	8
Для числа зубцов . .	12—13	14—16	17—20	21—25	26—34	35—54	55—134	135 до зубчат. рейки

Для более точных работ употребляются наборы в 15 фрез.

Таблица 18.

№ фрез	1	$1^1/_2$	2	$2^1/_2$	3	$3^1/_2$	4	$4^1/_2$
Для числа зубцов .	12	13	14	15—16	17—18	19—20	21—22	23—25

№ фрез	5	$5^1/_2$	6	$6^1/_2$	7	$7^1/_2$	8
Для числа зубцов .	26—29	30—34	35—41	42—54	55—79	80—134	135 до зубчатой рейки

Изготовление фрез.

Сложный процесс изготовления фрез требует по преимуществу токарной, фрезерной и шлифовальной работы. Фрезы, как и резцы, готовят из инструментальной (углеродистой) стали с содержанием C от 1,0 % до 1,3 % и из быстрорежущей стали самых разнообразных сортов.

Из-за сложности механической и термической обработки фрез стоимость их изготовления значительно превышает стоимость изготовления резцов, а так как скорости резания у фрез в настоящее время достигают очень больших значений и при таких условиях они подвергаются весьма значительным нагрузкам, то для изготовления их выгодно брать материалы только хорошего качества, чтобы избежать частых наточек и может быть даже отжигов при переточках заново.

Современная машиностроительная промышленность, перерабатывающая большое количество специальных материалов, в настоящее время для фрез употребляет по преимуществу только высокие сорта инструментальной стали и всевозможные сорта хорошо зарекомендовавших себя быстрорежущих сталей.

Изготовление фрез нужно рассматривать в двух фазах — работы по изготовлению их до закалки и работы после закалки.

В зависимости от конструкции и характера работы самой фрезы, а также от профиля потребного для нее материала, количество операций, нужных для ее изготовления бывает различным, но в общем почти всегда можно фиксировать следующие производственные моменты:

1-я фаза — до закалки.

1) Отрезка материала.
2) Отковка (если является нужным).
3) Изготовление отверстия под оправку.
4) Обточка боковых поверхностей.
5) Обточка поверхностей вращения.
6) Нарезка зубцов.

2-я фаза — после закалки.

1) Шлифовка отверстия или хвоста.
2) Поверка концентричности вершин зубцов с отверстием или хвостом.

3) Поверка перпендикулярности боковой плоскости.

4) Заточка зубцов.

5) Общий осмотр и поверка размеров.

Каждая из этих основных операций может распадаться еще на целый ряд более мелких, как например „изготовление отверстия под оправку“ распадается на: *a*) сверление отверстия начерно, *b*) развертывание отверстия начисто, *c*) изготовление выточки в канале, *d*) долбление шпоночной канавки в отверстии (иногда фрезеровка или сверление полукруглой канавки).

В зависимости от способа посадки фрезы на оправку, работы по изготовлению отверстия могут составиться иначе: *a*) сверление отверстия начерно, *b*) расточка его под внутренний диаметр резьбы, *c*) нарезка резьбы для посадки, *d*) расточка уступа под упорный буртик оправки, *e*) обточка одной боковой стороны заготовки и т. д. Некоторые операции могут совсем отпадать, но вместо них появляются новые; так при изготовлении хвостовой фрезы отпадает разработка отверстия, но появляется обточка конического или цилиндрического хвоста, а значит возникает новая подготовительная операция — „центровка“.

Заготовка материала для фрез

производится либо путем отрезки на токарном станке от прутка определенного профиля необходимой длины куска, когда фреза делается просто из целого без поковки (в случае небольших, по преимуществу торцевых, фрез), либо отрезкой несколько иного размера куска, чем это требуется, но с последующей доработкой его под молотом, если фреза делается кованой. В последнем случае материал, всегда уплотняясь при поковке, делается несколько равномернее и лучше. Нагрев на древесном угле или в муфельной печи нужно производить равномерно, до температуры светлокрасного накала и ударами по всей поверхности заготовки кончать таковую не ранее того, как металл охладится до темнобурого цвета, — это необходимо, чтобы металл получил равномерное мелкозернистое строение.

В заготовках даже для больших фрез никогда не следует пробивать дыру для посадочного отверстия, ибо это очень часто влечет за собой появление невидимых вначале мелких трещин, которые впоследствии служат причиной брака изделия.

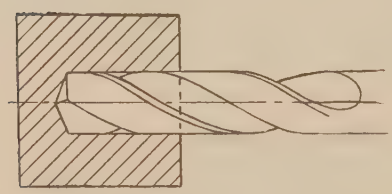
Ранее чем подвергать заготовку обработке на станках, ее отжигают и затем нагрубо обдирают на токарном станке; при этом

внутреннее напряжение металла, возникшее при отковке, уничтожается, и самый материал становится более податливым для резания.

Обдирка служит для снятия корки и обнаруживает случайные дефекты материала.

Разработка отверстия.

Чтобы безошибочно обработать фрезу, нужно в первую очередь установить основные ее размеры, от которых можно было бы смело, как от постоянной базы, брать все остальные ее измерения. Таким основным размером у аксиальной фрезы может служить отверстие (у торцевой или пазовой — хвостовой конус), при помощи которого она насаживается на рабочий шпиндель или оправку. Зекрепивши заготовку фрезы в соответствующий зажим или в американский патрон токарного станка (фиг. 169), ее раньше всего тщательно проверяют, чтобы ось заготовки совпадала с осью вращения, а боковые стороны ее не были бы перекошены.



Фиг. 169.

При посредстве спирального сверла (иногда применяются последовательно два — три сверла) сначала рассверливают дыру на 0,2 0,3 *мм* меньше, чем это требуется окончательным размером. Во время сверления канала сверло нужно хорошо охлаждать мыльной водой, маслом и т. п., чтобы не затупились его режущие кромки: в противном случае оно начнет рвать металл, и отверстие выйдет больше, чем требуется по чертежу.

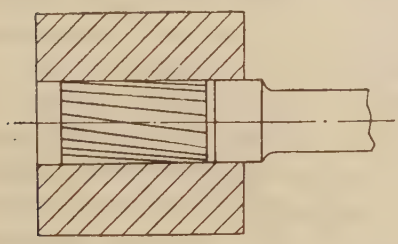
Не изменяя положения изделия, поворотом головки полученное отверстие подвергают еще окончательно развертыванию при помощи цилиндрической развертки, диаметр которой делается совершенно равным окончательному, если сталь при закалке дает усадку, или чаще на 0,03—0,05 *мм* меньше меры для последующей шлифовки.

При работе разверткой так же нужно применять охлаждающую жидкость, чтобы развертка не могла нагреваться и чтобы, расширяясь, не увеличила диаметр отверстия (фиг. 170).

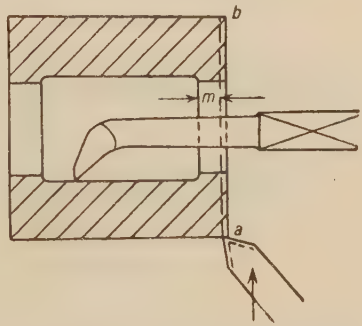
После того, как канал подвергнут окончательной развертке, внутри его делается еще выточка, служащая с одной стороны для облегчения последующей шлифовки, а также обеспечивающая

лучшую посадку фрезы на оправку. Ширина остающихся колец делается в зависимости от размера фрезы равной 5 — 12 *мм* (фиг. 171).

Наконец помощью проходного резца при том же положении заготовки подрезают одну сторону фрезы *ab*, точно выдерживая окончательный размер *m*. Дальнейшая обработка отверстия фрезы зависит от способа ее посадки; если она насаживается на оправку

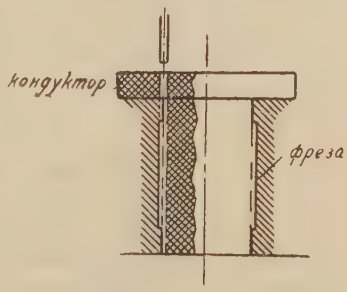


Фиг. 170.



Фиг. 171.

помощью прямоугольной шпонки, то, пользуясь плоскостью *ab*, заготовку устанавливают на столе долбежного станка и продалбливают канавку, если же фреза насаживается на полукруглую шпонку, то канавку высверливают или еще лучше выфрезеровывают торцевой фрезой через кондуктор (фиг. 172), имеющий по длине соответствующее направление для фрезы.

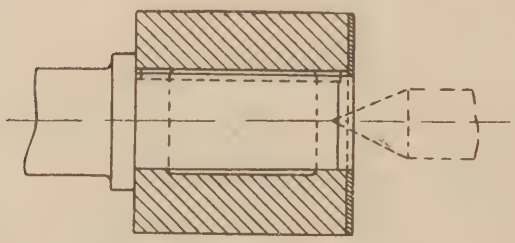


Фиг. 172.

Эту канавку можно высверливать и раньше до разделки отверстия, но тогда требуется тщательная разметка фрезы и перекосы все же не окончательно исключаются. Когда фреза удерживается на оправке просто без всяких шпонок, т. е. трением от зажатия боковых поверхностей, то указанной выше операцией разборка отверстия и заканчивается. При посадке фрезы на резьбу, что делается весьма редко, после сверления под внутренний диаметр нарезки и по развертывании или по проточке его нарезают резьбу остроконечным резцом, гребенкой или даже метчиком, затем подрезают боковую грань *ab* и часть резьбы срезают, образуя уступ для буртика оправки. Резьбу делают всегда обратной направлению вращения фрезы

(обычно левую), чтобы она при работе не свертывалась с оправки.

Раньше, чем приступить к обработке поверхности вращения, снятую со станка заготовку насаживают на короткую оправку чистой боковой поверхностью внутрь к опорному буртику, ставят на шпонку или навертывают на резьбу, следя за тем, чтобы она плотно прилегала обратной стороной к упору, и затем, поставивши оправку на центры станка, протачивают наружную торцевую поверхность до точного размера по длине фрезы (фиг. 173).



Фиг. 173.

Свободный конец оправки обязательно нужно упереть в центр задней бабки станка, чтобы вполне обеспечить невозможность перекоса обтачиваемой поверхности от могущего возникнуть изгиба оправки. Из всех способов посадки фрезы на оправку лучшей нужно считать такую, когда фреза удерживается на ней трением боковых плоскостей. В этих случаях, при больших давлениях на зубцы, фреза начинает провертываться, предохраняя зубцы от поломки. Однако при больших диаметрах фрезы избежать посадки на шпонку очень трудно, ибо передача момента трения на торцевых поверхностях не обеспечивает фрезу от постоянного ее провертывания.

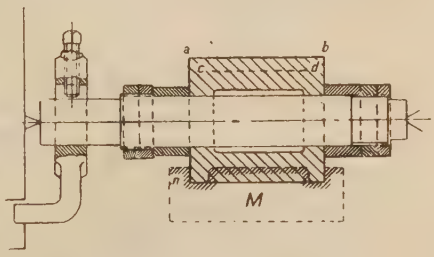
Обточка поверхности вращения.

Обточка представляет собой весьма ответственную работу в изготовлении фрез. Эту работу можно производить лишь тогда, когда имеется полная уверенность в том, что станина станка совершенно точно пришабрена с поперечными салазками суппорта, положение переднего и заднего центра бабок по высоте их над поверхностью станины абсолютно точно и параллельно ей, а в вертикальной плоскости оба они совпадают с математической осью вращения.

Таким образом резец, перемещающийся с суппортом вдоль станины, должен гарантировать полную параллельность движения его лезвия с осью станка как в плоскостях параллельных поверхности станка, так и в плоскостях перпендикулярных ей в продольном направлении.

Малейшие перекосы вызывают значительные ошибки в работе, и для получения хорошей фрезы должны быть устранены. Подлежащая обработке фреза насаживается на оправку точно так, как она будет впоследствии работать (фиг. 174).

Оправка берется в центре и помощью хомутика сцепляется с поводковым патроном. Поверхность *ab* при цилиндрической фрезе обрабатывается обыкновенным резцом, а при фасонном профиле ее *acdb* обработка ведется фасонным резцом.

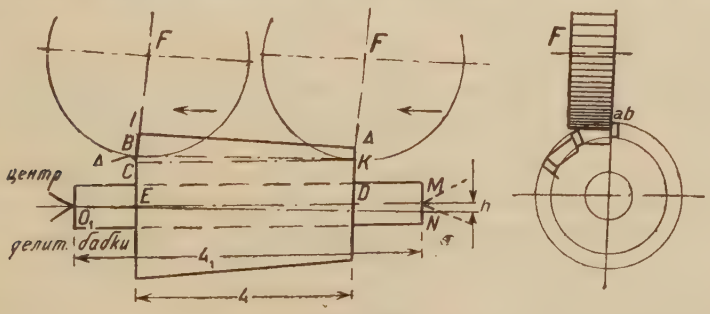


Фиг. 174.

Проверка размеров в первом случае производится по длине и по диаметру соответствующими скобами (калибрами), а при фасонной фрезе профиль ее еще проверяется плоским лекалом *M*, обязательно имеющим упор *n*, а лучше всего даже два упора с обеих сторон, ибо только при таких условиях фасонный профиль возможно проверить с достаточной уверенностью и точностью.

Нарезка зубцов.

Нарезка зубцов на фрезах производится в зависимости от характера расположения зубцов на поверхности вращения или на торце, от профиля поверхности вращения и наконец от самого назначения фрезы, различно. Она производится либо на обыкно-

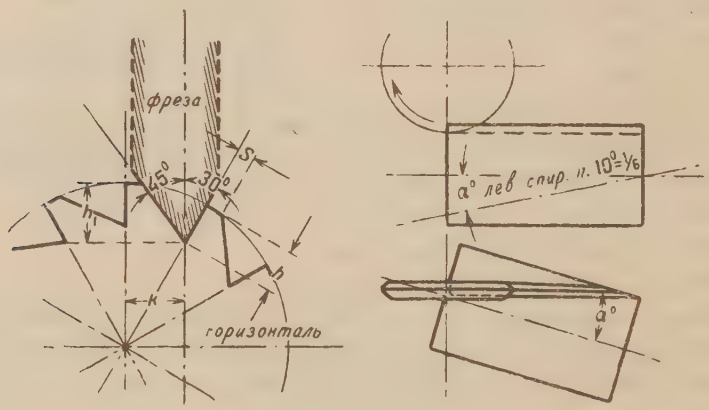


Фиг. 175.

венных горизонтально-фрезерных станках, либо на универсально фрезерных, либо на специальных станках, причем делительный механизм в виде простой или универсальной бабки является неизбежно необходимым.

Нужно различать следующие случаи нарезки зубцов: *а*) нарезка прямых зубцов на цилиндрической или конической поверхности аксиальной фрезы производится на обыкновенном фрезерном станке при помощи простой делительной бабки (фиг. 175).

Пусть требуется нарезать коническую фрезу с шириной задней грани *ab*. Вычерчивая зубец в большом масштабе, находим глубину его на длине *L* равной *JB* и *AK*. Так как линия *KB* при



Фиг. 176.

нарезке должна быть горизонтальна, то необходимо определить величину $h = MN$, на которую должно поднять центр задней бабки по отношению центра делительной бабки.

Величину подъема центра задней бабки найдем из отношения:

$$\frac{h}{\Delta} = \frac{L_1}{L}.$$

Для этого шпиндель делительной бабки O_1 нужно повернуть вверх на угол δ соответствующий подъему

$$1 : \frac{L}{\Delta} = 1\frac{L_1}{h};$$

этот угол определяется из выражения:

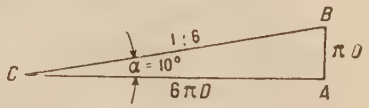
$$\operatorname{tg}\delta = 1 : \frac{L}{\Delta}.$$

Для нарезки может служить фреза *F* с прямыми или спиральными зубцами.

Пусть требуется нарезать цилиндрическую фрезу со спиральными зубцами. Примем угол наклона $\alpha = 10°$, т. е. $\cong 1/6$. Составим в увеличенном масштабе (фиг. 176) чертеж, найдем размеры зубцов и вы-

берем фрезу с двумя наклонами, чтобы она свободно проходила в спиральной канавке (фиг. 176).

Вычертив соответственно рабочую фрезу, найдем ее боковой снос K и глубины погружения h. Наборные шестерни, необходимые для образования спирали, найдутся следующим образом. Развертка винтовой линии, показанная на фиг. 177 при угле $\alpha = 10^\circ$, характеризуется величиной $\operatorname{tg} \alpha = 0{,}166$, т. е. при одном обороте обрабатываемой фрезы около своей оси фреза пройдет путь, равный $6\pi d$.

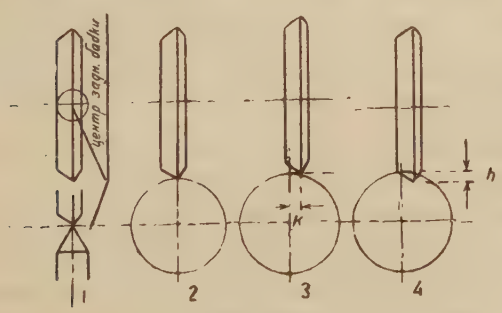


Фиг. 177.

Так как ходовой винт станка имеет n ниток на 1″ (например 4), то он должен сделать $\frac{P}{n}$ оборотов, чтобы передвинуть нарезаемую фрезу на величину AC. Одновременно нарезаемая фреза должна сделать один оборот вокруг своей оси, иначе говоря, рукоятка делительной бабки должна быть повернута m раз (предположим, число зубцов винтового колеса 40); следовательно при повороте червяка на 1 оборот нарезаемая фреза повернется на $\frac{1}{m}$ ($^1/_{40}$) часть окружности, а значит при повороте ее на 1 полный оборот рукоятку нужно повернуть m (40) раз. Следовательно между шестерней рукоятки и ходовым винтом нужно создать передачу:

$$\frac{m}{\frac{P}{n}} = \frac{m \cdot n}{P}.$$

Отсюда определяются искомые шестерни на гитаре делительной бабки [1]).



Фиг. 178.

Установка нарезаемой фрезы при этом производится следующим образом (фиг. 178):

1) Рабочая фреза, не закрепляя еще нарезаемой фрезы, проверяется по центру задней бабки.

2) Нарезаемая фреза укрепляется на оправке и стол станка опускается настолько, чтобы рабочая фреза своим острием пришла в соприкосновение с верхней частью обрабатываемой фрезы.

[1]) А. Л. Феста. Конспект по технологии металлов.

3) Не изменяя высоты, стол параллельно самому себе сдвигают вперед на величину K.

4) Пуская станок в ход, постепенно поднимают стол вверх на высоту h, равную углублению фрезы.

5) Наконец поворачивают стол (фиг. 177) в направлении часовой стрелки под углом α°, соответствующим наклону $\frac{1}{6}$, и приступают к фрезеровке зубцов.

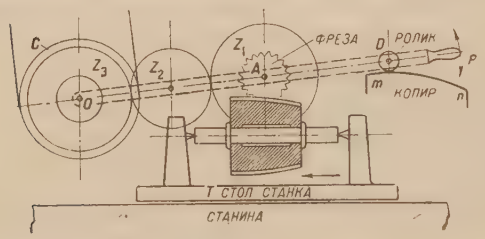
Угол поворота стола находится из соотношения:

$$\operatorname{tg} \alpha = 1:6 = 0{,}166$$
$$\alpha^\circ \cong 9^\circ 30'.$$

Деление для поворота рукоятки делительной бабки получается из выражения:

$$\frac{\text{число зубцов винтового колеса}}{\text{число зубцов нарезаемой фрезы}} = \frac{m}{n} = q.$$

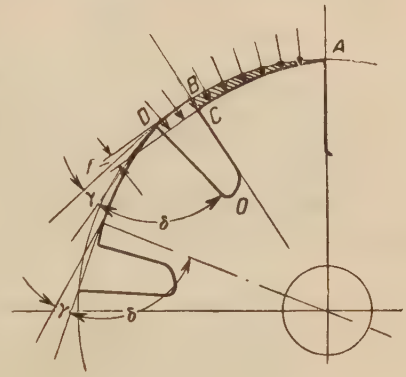
в) Нарезание зубцов на фасонных поверхностях вращения получается таким образом, что рабочая фреза получает вращательное движение и непосредственную или относительную подачу по кривой эквидестантной фасонному профилю. Для этой цели служат специальные фасонно-копировальные станки. Однако в инструментальных мастерских часто такую нарезку производят на обыкновенных фрезерных станках при помощи простого копировального приспособления, схема которого показана на фиг. 179.



Фиг. 179.

Рабочая фреза насаживается на палец рычага B; на том же пальце сидит шестерня z_1, сцепленная с z_2, а эта последняя с z_3. На одном валике с z_3 сидит шкив C, который ремнем связан с приводным шкивом подвески, следовательно через посредство C, z_1, z_2, z_3 фрезе A можно передать необходимую скорость вращения. На конце рычага сидит ролик D, который катится по конусу mn, имеющему профиль тождественный с фрезой, и так как вся система (рычаг, шкив, шестерни и фреза) укреплена неподвижно на станине станка, то ролик, благодаря качанию рычага около точки вращения O, может сообщать фрезе A требуемую траекторию резания,

соответственно форме нарезаемой фрезы. В остальном нарезка зубцов на фасонной фрезе ничем не отличается от нарезки фрезы с цилиндрической поверхностью вращения. При движении стола T нарезаемая фреза вместе с копиром mn будет двигаться в направлении стрелки и заставит ролик D, прижимая его к копиру грузом P, катиться по криволинейному профилю, отчего рабочая фреза прорежет на заготовке канавку постоянной глубины.



Фиг. 180.

c) При нарезке зубцов американского профиля применяется полностью все сказанное о нарезке остроконечных зубцов, с тою лишь разницей, что здесь употребляется фреза иного профиля, и после прорезки зубцы еще нужно снабдить спиральной заточкой задней грани. Цель задней заточки: во-первых, создать условие постоянства профиля режущего лезвия, во-вторых, достигнуть постоянного угла установа (заднего) γ. Это осуществляется тем, что задняя грань затачивается по логарифмической спирали, а передняя стачивается радиальными плоскостями. При заточке задней грани фрезы резец должен снять с нее слой металла ABC (фиг. 180), это возможно, если он при вращении фрезы будет передвигаться к центру радиально по известному закону до тех пор, пока не достигнет некоторой величины f, после чего он должен возвратиться в первоначальное положение, раньше чем к нему подойдет следующий зубец.

Величина задней заточки f зависит от шага T и от угла установа γ. Общая формула, дающая значение величины f, будет:

$$f = R \cdot T = R \frac{\pi \cdot D}{z},$$

или, принимая во внимание коэфициент $R = \frac{1}{2\pi}$, найдем:

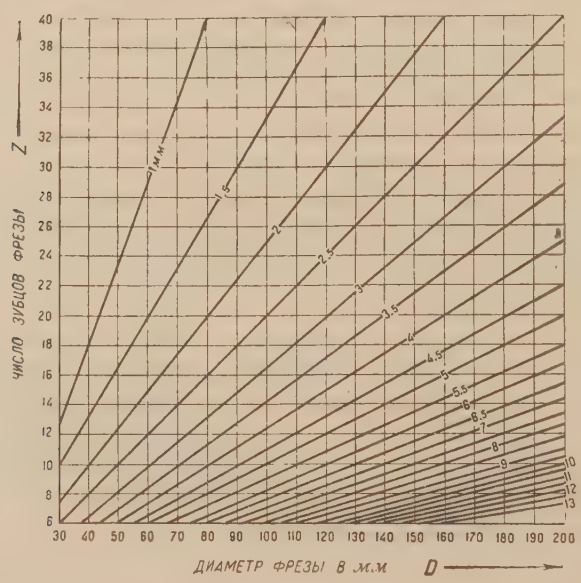
$$f = \frac{D}{2z}.$$

Приводимая на стр. 126 диаграмма дает значение для стрелки f заточки фрез диаметром от 30 до 200 и с числом зубцов от 6 до 40.

Примеры:

1. Фреза ⌀ — 75 *мм*, $z = 18$; $f = \frac{75}{2 \cdot 18} \cong 2$ *мм*.
2. „ ⌀ — 120 „ $z = 24$; $f = \frac{129}{2 \cdot 24} = 2{,}5$ „
3. „ ⌀ 120 „ $z = 12$; $f = \frac{120}{2 \cdot 12} = 5$ „
4. „ ⌀ — 140 „ $z = 14$; $f = \frac{140}{2 \cdot 14} = 5$ „

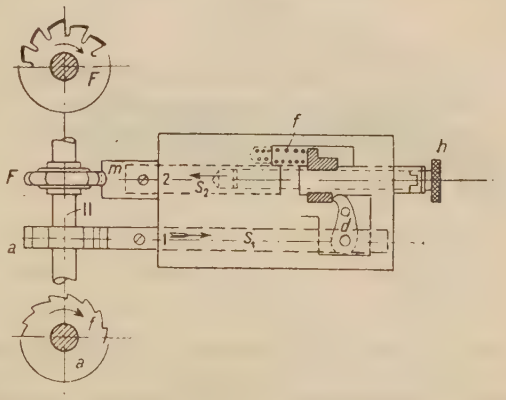
Попеременно возвратное движение острия резца в течение оборота фрезы должно повторяться столько раз, сколько у фрезы зуб-



цов. Осуществление такого движения резца достигается при помощи особого устройства суппорта или на специальных станках для спиральной заточки. Простейшее приспособление для токарного станка (фиг. 181) фирмы Th. Westpal заключается в следующем.

Фреза F с оправкой II устанавливается на центрах и приводится во вращение. Приводная зубчатка a при каждом зубце сдвигает ведущую штангу S_1 в направлении 1, а рычаг d надавливает в свою очередь на резцедержку S_2 и прижимает резец m по направлению 2 к фрезе F, в силу чего снимается затылок ее по кривой tp. Как только зубец звездочки a пройдет упор S_1, сейчас же сильная пружина f с большой скоростью оттягивает резец m назад и он холосто проходит часть пути против впа-

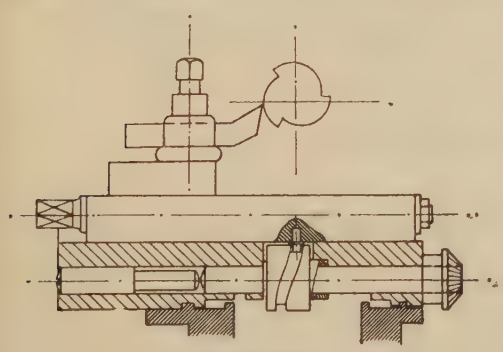
дины BD, чтобы снова начать резание с точки D (фиг. 180). В этом приборе звездочка a и фреза F должны иметь одинаковое число зубцов. Помощью маховичка h резец m, можно точно устанавливать относительно фрезы F. Специальная конструкция суппорта (фиг. 182) завода S. Schiess для сообщения резцу периодических движений вперед и назад на валике для продольной подачи помещает муфту с криволинейной проточкой, в которой помещается палец, связанный с салазками поперечной подачи.



Фиг. 181.

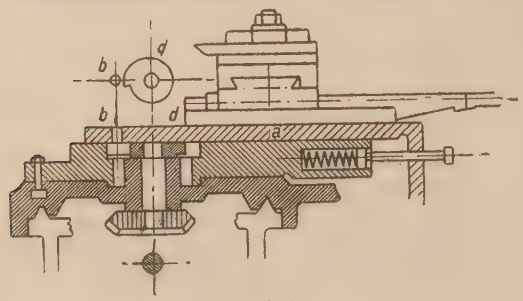
Чтобы при снятии затылка резец подвигался медленно, а при проходе через впадину быстро отодвигался назад, канавка муфты должна быть замкнутой и иметь в одном месте значительную кривизну. Число оборотов валика муфты должно относиться к числу оборотов станка как $z:1$, где z число зубцов фрезы.

Такое устройство дает возможность затачивать зубцы сзади только в радиальном направлении, но когда требуется заточка боковых поверхностей, и если движение происходит не перпендикулярно оси фрезы, то эта конструкция оказывается непригодной; необходимо еще, чтобы на суппорте помещался поворотный диск. В станке Рейнекера этот недостаток устранен (фиг. 183); здесь поперечные передвижения суппорта производятся кулачком d, к боковой поверхности которого прижимается пружиной палец e суппорта C.


Фиг. 182.

Поворотный диск допускает поворот резца к фрезе под любым углом. Для задней заточки специальных фрез устраивается еще осо-

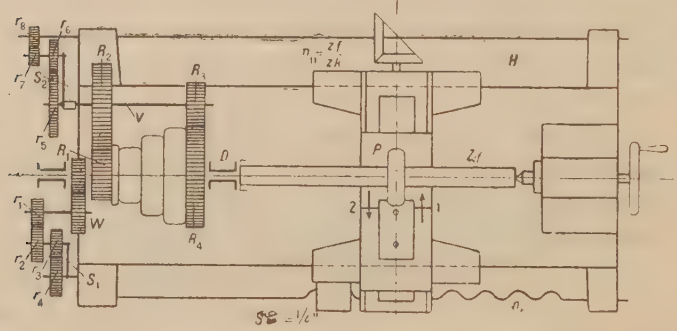
бый привод. При задней заточке зубцов на специальном станке необходимо произвести каждый раз простой подсчет, легко уясняющийся из схемы станка (фиг. 184).



Фиг. 183.

Пусть требуется заточить фрезу ⌀ 90 *мм* с 24 зубцами. Чтобы для привода заднего вала H избежать большой передачи от r_5 до r_8, валику H сообщают вращение через перебор V, который при $\frac{R_3}{R_4}=\frac{1}{3}$ будет вращаться в три раза быстрее D. Передача между D и H получается:

$$\frac{R_4}{R_3}\cdot\frac{r_5}{r_6}\cdot\frac{r_3}{r_8}=\frac{n_H}{n_D}.$$



Фиг. 184.

Поэтому число оборотов валика для фрезы z_f будет:

$$n_H=\frac{z_f}{z_k},\quad n_D=1.$$

Наборные шестерни определяются:

$$\frac{r_5}{r_6}\cdot\frac{r_7}{r_8}=\frac{R_3}{R_4}\cdot\frac{z_f}{z_k}=\frac{1}{3}\cdot\frac{z_f}{4}=\frac{z_f}{12}=\frac{24}{12}=\frac{48}{24}.$$

Шестерня на V: = 48; шестерня на H: = 24.

Вместо r_6 и r_7 можно ввести на S_2 шестерню, например с 36 зубцами.

Ход стрелки f в муфте для задней заточки получается из:

$$f = \frac{D}{2+z} = \frac{90}{2 \cdot 24} \cong 2 \text{ мм.}$$

При заточке прямых зубцов на цилиндрической фрезе ходовой винт сообщает суппорту, как и при продольном точении, подачу δ. Задний валик H при этом обеспечивает каждый раз Z_f задних заточек, для чего он делает $n = \frac{z_f}{z_k}$ оборотов.

При задней заточке спиральных фрез станок должен в зависимости от хода спирали делать Z_f задних заточек в то время, как салазки с резцом перемещаются на величину подъема спирали S.

Для Z_f заточек задний валик H должен сделать на $\frac{z}{12}$ больше или меньше оборотов. Рабочий шпиндель D при подаче δ на величину подъема спирали S делает $n_D = \frac{s}{\delta}$ оборотов.

Так как задний валик H при одном обороте шпинделя D делает $\frac{z_f}{12}$ оборотов, то следовательно при $\frac{s}{\delta}$ оборотах шпинделя D валик H будет делать $\frac{z_f}{12} \cdot \frac{s}{\delta}$ оборотов. Но в силу того, что задний валик H должен на $\frac{z_f}{12}$ оборотов опережать или отставать от D, то

$$n_H = \frac{z_f}{12} \times \frac{s}{\delta} \pm \frac{z_f}{12} = \frac{z_f}{12}\left(\frac{s}{\delta} \pm 1\right).$$

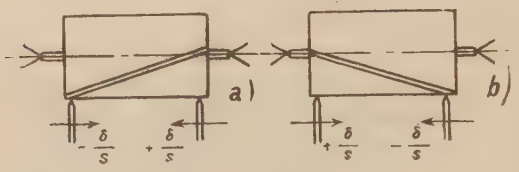
Передача наборных шестерен определяется из соотношений:

$$\frac{r_5}{r_6} \times \frac{r_7}{r_8} = \frac{\frac{z_f}{12}\left(\frac{s}{\delta} \pm 1\right)}{\frac{s}{\delta}} = \frac{z_f}{12}\left(1 \pm \frac{\delta}{s}\right),$$

где δ продольная подача станка, а S подъем спирали. Если при левой спирали подача происходит в направлении к передней бабке, то заточка должна иметь опережение, т. е. $+\frac{\delta}{s}$, если же, наоборот, подача идет в направлении задней бабки, то заточка должна отставать, т. е. $-\frac{\delta}{s}$.

При правой спирали и подаче на переднюю бабку заточка отстает, т. е. $-\frac{\delta}{s}$, при подаче на заднюю бабку заточка опере-

жает и нужно брать $+\frac{\delta}{s}$. Настоящее правило очень наглядно уясняется из схем, приведенных на чертежах *a* и *b* (фиг. 185).



Фиг. 185.

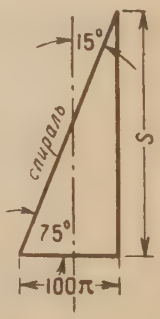
Пример. Требуется заточить спиральную фрезу ⌀ 100 *мм* при 14 зубцах. 1) Наборные шестерни для ходового винта 4 нитки на 1″ при подаче $\frac{1}{24}$″:

$$\frac{r_4}{r_2}\times\frac{r_3}{r_4}=\frac{\frac{4''}{24}}{\frac{1''}{4}}=\frac{1}{6}=\frac{28}{84}\times\frac{63}{126}.$$

Шестерня на $W_1, -r_1=28$; ведущая на $S_1, -r_3=63$;
„ „ $L_1, -r_4=126$; ведомая на $S_1, -r_2=84$.

2) Наборные шестерни на задний валик *H*:

$$\frac{r_5}{r_6}\cdot\frac{r_7}{r_8}=\frac{z_f}{12}\left(1\pm\frac{\delta}{s}\right).$$



Фиг. 186.

Здесь подъем спирали $s=\pi\cdot 100\ \mathrm{tg}\ 75^\circ=$ $=1172$ *мм* $=46\frac{1}{4}$″, следовательно на фрезерном станке нужно нарезать левую спираль с подъемом $46\frac{1}{4}$″ (фиг. 186) и с подачею на переднюю бабку:

$$\frac{r_5}{r_6}\cdot\frac{r_7}{r_8}=\frac{14}{12}\left(1+\frac{\frac{1}{24}}{46\frac{1}{4}}\right)=\frac{7}{6}\left(1+\frac{1}{6}\cdot\frac{1}{185}\right)\cong\frac{34}{38}\cdot\frac{47}{36}.$$

Шестерня на $V, -r_5=34$; ведущая на $S_2, -r_7=47$;
„ „ $H, -r_8=36$; ведомая „ $S_2, -r_6=38$.

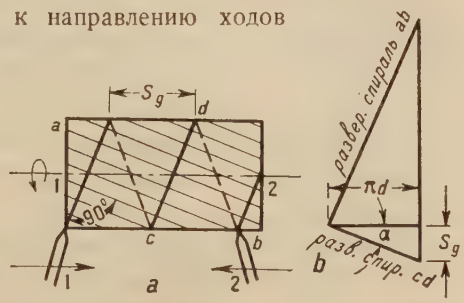
При задней заточке червячных фрез со спиральными продольными канавками ходовой винт *L*, как и при нарезке винтов, должен передвигать салазки при каждом обороте фрезы на шаг червяка, т. е. подача δ равна подъему червяка S_g. Задний валик *H* должен соответственно продольным канавкам осуществлять задние заточки (фиг. 187 *a* и *b*).

1. $\frac{r_1}{r_2} \times \frac{r_3}{r_4} = \frac{S_G}{S_L} = \frac{\text{подъем червяка}}{\text{подъем ходового винта}}$.

2. $\frac{r_5}{r_6} \times \frac{r_7}{r_8} = \frac{z_f}{12}\left(1 \pm \frac{S_g}{S}\right)$.

Подъем спирали S вычисляется по фиг. 187*b*; так как продольная спираль перпендикулярна к направлению ходов червяка, то

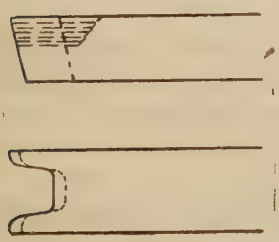
$$\frac{S}{\pi d} = \frac{\pi d}{S_g}; \qquad S = \frac{(\pi d)^2}{S_g}.$$



Фиг. 187.

Резцы для задней заточки изготовляются из быстрорежущей стали (фиг. 188) и затачиваются параллельными плоскостями, что обеспечивает им постоянство профиля режущей кромки.

Для снятия затылка у фрез американского профиля, кроме описанных типов станков и приспособлений, в настоящее время употребляется еще множество других конструкций; все они однако в большей или меньшей степени напоминают рассмотренные выше.


Фиг. 188.

Так как фрезы со спиральными зубцами (кроме червячной) с задней заточкой по логарифмической линии делают очень редко, то для практических соображений можно вполне ограничиться рассмотренными выше.

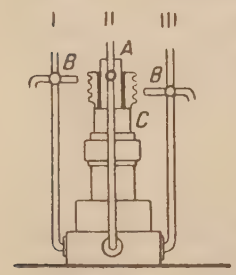
Термическая обработка фрез.

Термическая обработка фрез начинает собой вторую фазу работ по изготовлению их в инструментальной.

Дать какие-нибудь общие правила для закалки фрез в виду их крайнего разнообразия почти не представляется возможным, поэтому целесообразнее рассмотреть их по группам и для этих последних дать некоторые общие соображения.

1) Фрезы насадные (цилиндрические, фасонные, дисковые, пазовые, модульные и аксиально лобовые), представляющие собой более или менее симметричные изделия со значительным количеством равномерно распределенного материала. При закалке их нагрев до-

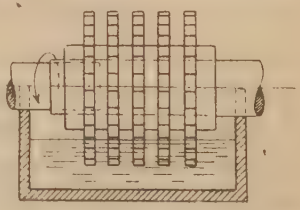
водят до температуры несколько ниже температуры ковки, для быстрорежущих сталей до температуры около 1250°. Углеродистые охлаждать в водяной ванне при 20° и через $1\frac{1}{2}$ — 2 минуты вынимать, — дальнейшее охлаждение вести в конопляном или в сурепном масле. При этом зубцы охладившиеся сразу получают большую твердость, а остальная часть сохранит еще достаточную эластичность и вязкость, что очень важно в целях избежания трещин и излишней твердости нерабочих частей. Быстрорежущие фрезы охлаждать в масле, керосине или в струе воздуха до светлокрасного или вишнево-красного накала, затем давать медленно охладиться до температуры окружающего воздуха; для этого пользуются аппаратом, состоящим из цилиндра *C*, четырех штативов I—IV, на которых укреплены трубки от воздушного бака (*B*), и наконец из легко подвижной цапфы *A*, смонтированной на шариковых подшипниках (фиг. 189).



Фиг. 189.

На цапфу *A* надевается фреза и тангенциальными струями воздуха она приводится в быстрое вращение, чем достигается хорошее и равномерное охлаждение. Закаливаемые таким образом фрезы в отпуске не нуждаются и к нему прибегают лишь в исключительных случаях.

2) Фрезы пазовые и развертки, снабженные хвостом, имеющие форму более или менее равномерного стержня с местными утонениями, при закалке требуют очень твердого зубца и относительно вязкого хвоста и переходной части, закаливаются как и обыкновенные резцы с последующим отпуском. Иногда их после нагрева быстро погружают в воду, охлаждают $1\frac{1}{2}$—2 минуты, затем быстро переносят в масляную ванну и здесь охлаждают только нарезанную часть.


Фиг. 190.

3) Прорезные фрезы, дисковые циркулярные пилы, модульные фрезы малых размеров с толщиной диска от 4 до 8 *мм* нагревают в расплавленном свинце в части окружности несколько дальше корня зубцов. Для этого их насаживают на оправку (фиг. 190) и последнюю быстро приводят во вращение.

Когда край диска станет сплошь желто-красный или светло-красный, фрезу быстро переносят в охлаждающую ванну и дают охладиться до комнатной температуры. Здесь отверстие и средняя часть остается достаточно мягкой и при работе редко обнаруживают трещины.

4) Прорезные фрезы и круглые пилы еще более тонкие, т. е. менее 4 *мм*, нагревают обычно в муфельных печах на оправках подобного же типа и затем охлаждение их ведут в масляной ванне, погружая вместе с оправкой. Такой способ закалки дает более мягкую середину и сберегает фрезы от искривления. Охлаждать тонкие фрезы в воде не рекомендуется, так как в ней они больше коробятся и дают трещины.

В настоящее время вместо свинца для нагревания чаще употребляют соляные ванны, — они дают более твердую закалку, и внешние поверхности изделий выходят чище. Свинец окисляет инструменты и благодаря этому в ответственных случаях его нужно избегать.

Большим недостатком солей является то, что они способствуют появлению ржавчины, поэтому фрезы после закалки в соляной ванне нужно тщательно промывать, вытирать насухо и смазывать вазелином.

Шлифовка отверстия или хвоста.

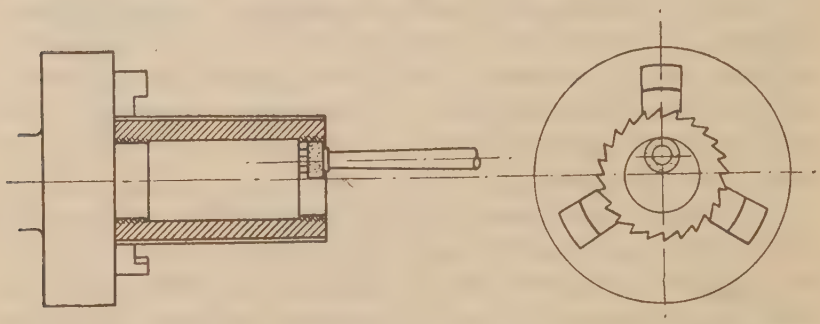
После закалки сильно нагретая и быстро охлажденная фреза, претерпевая значительные напряжения, получает иногда остающиеся деформации, в силу чего ее наружные и внутренние очертания подвергаются некоторому изменению.

Может случиться, что ось ее не совпадает с первоначальной осью вращения, боковые грани не перпендикулярны к оси, поверхность вращения не совершенно кругла, а у длинных и тонких фрез хвост их оказывается нередко погнутым. Все эти недостатки, сколько это позволяет возможность, должны быть устранены, ибо наличие их при работе вызвало бы большие неточности и быстро приводило бы фрезу в негодное состояние. Правильный нагрев и умелое охлаждение, с одной стороны, соответствующий подбор стали при той последовательности обработки, которая описана выше, с другой стороны — дают гарантию, что все эти неправильности будут выражаться сравнительно ничтожными величинами, а потому легко устранимы путем шлифования фрез после закалки. Для шлифования употребляются наждачные, корундовые, карборундовые, алундовые,

алокситовые и другие круги, имеющие, смотря по надобности, различную форму рабочего профиля.

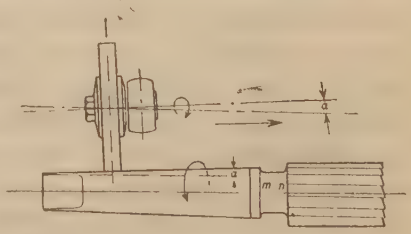
Шлифование отверстия фрезы производится на универсально-шлифовальном станке (фиг. 191).

В трехкулачный автоматически зажимающий патрон закрепляется фреза *A*, проверенная таким образом, чтобы, если имеется непра-



Фиг. 191.

вильность в концентричности дыры и цилиндрической поверхности, ошибка была разбита более или менее равномерно на обе стороны. На станине станка укреплен на суппорте особый шлифовальный прибор в виде длинного закаленного стержня *a* с шлифовальным кружком на конце. Ось стержня *a* может быть установлена точно в центре патрона или параллельно оси его вращения в любом положении. Патрон *B* получает вращательное движение, обратное движению кружка, который имеет еще кроме того поступательное движение в направлении оси вращения фрезы *A*. Чтобы не происходило изгиба стержня *a*, когда он бывает тонок, шлифовку канала ведут очень осторожно, снимая тончайший слой металла — при этом получается точная цилиндрическая дыра, которая должна быть сделана по калибру.



Фиг. 192.

При шлифовании фрез, снабженных хвостом, они устанавливаются на центрах шлифовального станка (фиг. 192) и проверяются сначала с тем, чтобы, если имеется прогиб, выправить его помощью правила.

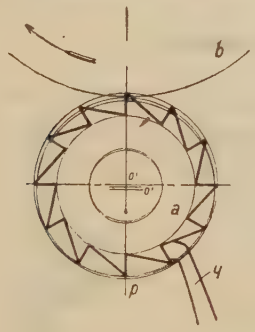
Затем соответственно заданному конусу весь стол поворачивается на угол α° уклона конуса и шлифование конуса производится обычным порядком.

Шлифовку лучше всего вести с водой и снимать слой металла такой толщины, чтобы избежать малейшего изгиба хвоста фрезы. Если фреза длинная, то в ней раньше всего следует прошлифовать часть *mn* и в ней поставить люнет, а затем уже поворачивать стол на угол α°.

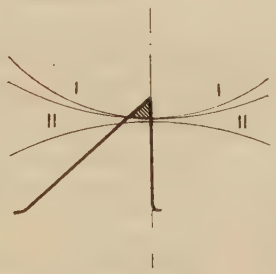
Поверка контуров.

Как замечено было при шлифовке отверстия, фрезу в патроне проверяют так, чтобы ошибку *OO'* разбить по возможности пополам, — это необходимо, если ошибка значительная и тогда шлифовка ведется из центра *O''* (фиг. 193).

Расшлифованную по отверстию фрезу *a''* насаживают на оправку и ставят на точно проверенные центры шлифовального



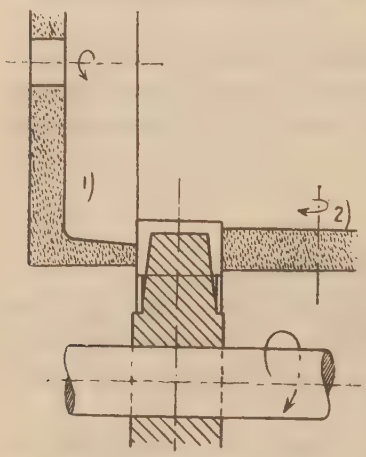
Фиг. 193.



Фиг. 194.

станка, подводят к ней кружок, как показано на фигуре и, провертывая фрезу, определяют тот зубец ее, который менее всего нужно стачивать, иначе говоря, начиная с высоты коего нужно срезать высоту прочих зубцов. Фреза *a* и кружок *b* устанавливаются так, чтобы оси их были совершенно параллельны между собой, а расстояние между ними было равно расстоянию до вершины наиболее короткого зубца *p*. Чтобы фреза не поворачивалась при исправлении ее контура, между зубцами ее вставляется пружинный упор *q*, укрепленный на столе станка. Повернувши фрезу на один зубец, пускают станок, сообщая кружку необходимую скорость вращения и подачу в направлении оси фрезы (в направлении длины зубца), эту последнюю чаще сообщают столу станка, перемещая его

вручную или самоходом. Так, поворачивая зубец за зубцом, проверяется вся фреза, причем верхушки их получают форму не плоского острия, а срезанную по кривой дуги кружка (фиг. 194), причем кривизна ее тем больше, чем меньше радиус кружка (I—I, II—II).



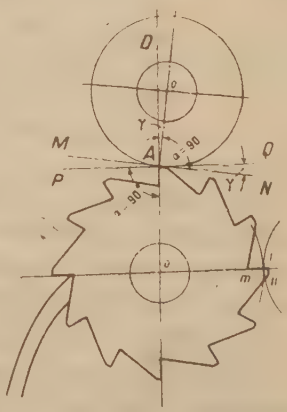
Фиг. 195.

После поверки контура поверхности вращения проверяют боковые стороны фрезы (фиг. 195, 1, 2). Это необходимо, чтобы длина зубцов по поверхности вращения была совершенно равной и чтобы зубцы, если они имеются на боковых поверхностях, были все на одной высоте, т. е. чтобы лезвия их лежали в одной плоскости.

Заточка задней грани.

После поверки контура фрезы все зубцы ее расположены своими вершинами на поверхности, равно удаленной всеми своими точками от оси вращения. Однако, как видно из фиг. 194 и на фиг. 196 у зубца *m*, такая фреза всегда будет тереть ребром II и чистой работы дать не сможет.

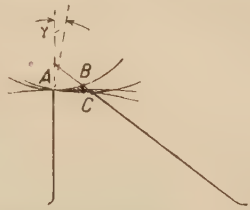
Чтобы сделать фрезу пригодной для работы, ее нужно еще заточить, т. е. у фрезы европейского профиля снять заднюю грань под углом установа $\gamma = 3° - 7°$.



Фиг. 196.

Такая заточка совершенно необходима у всех фрез, и производится она точно так, как это делалось при проверке концентричности, но взаимное расположение кружка и фрезы здесь иное и они имеют особое значение. Если в точке *A* окружности, проходящей через вершину зубца, провести касательную *PQ* и к ней в точке *A* построить с секущей *MN* угол $\gamma = 3° - 5°$ и далее в точке *A* к прямой *MN* восставить перпендикуляр *AO'*, то центр шлифовального кружка будет лежать

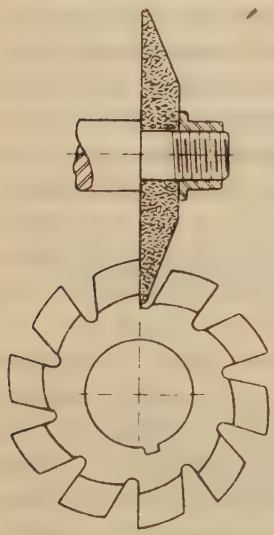
на этой прямой. Если пустить станок и дать кружку или фрезе подачу в направлении оси вращения, то кружок снимет с каждой задней грани слой материала *ABC* (фиг. 197) и именно так, что точка *C* всегда будет находиться на окружности меньшего диаметра, чем окружность, проходящая через *A*, а значит при работе такой зубец тереть своим затылком не будет.



Фиг. 197.

Эта разница высот точек *A* и *C* будет тем больше, чем больше при том же угле γ диаметр кружка, но тем слабее получится и вершинка зубца. В силу этого эту разницу берут лишь такой величины, чтобы она гарантировала полную невозможность трения точкой (вернее ребром) *C* по части поверхности изделия, обрабатываемого предшествующим ребром его *A*.

Что касается заточки зубцов фрез американского профиля, то она производится весьма просто. Если впадины зубцов расположены в направлении оси вращения фрезы, как это обычно и бывает, то шлифовальный круг углового профиля устанавливается своей осью перпендикулярно оси вращения фрезы, а шлифующая грань его направляется по передней грани зубца в радиальном направлении (фиг. 198).


Фиг. 198.

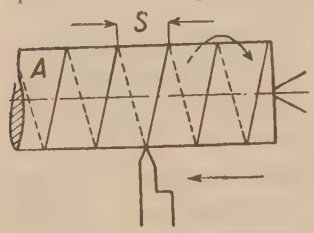
При заточке фрез, имеющих спиральный зубец, ось шлифовального кружка, оставаясь в параллельной плоскости с осью фрезы, поворачивается в своей проекции к ней под углом подъема спирали. В этом случае кружок нужно выбирать такого диаметра, чтобы его сегментовидный отрезок легко помещался в спиральной впадине и своей задней стороной не сшлифовал примыкающей стороны соседнего зубца.

Рассмотренное о фрезах далеко не исчерпывает всего материала, встречающегося в практике машиностроительных заводов, однако важнейшие моменты в изготовлении, конструировании и в работе фрезами были отмечены в этой главе.

ГЛАВА III.

ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ РЕЗЬБЫ.

В главе о резцах были рассмотрены главнейшие их представители, однако приготовление винтов и винтовых нарезок осуществляется не только резцами, но и другими инструментами и в частности так называемыми метчиками и плашками. Резьбовые изделия (винты, болты) в современном машиностроении, как элементы механизмов, играют первенствующую роль; мы встречаем их в самых разнообразных формах почти во всех произведениях техники либо как средство для скрепления отдельных деталей, либо как средство для передачи сил и движений. Не требуется никаких доказательств для того, чтобы утверждать, что качество и степень эксплоатации машин, аппаратов и механизмов в значительной степени зависит от качества болтов, соразмерности и точности их размеров и профилей. Достигнуть этого можно лишь при наличии соответствующих инструментов и использовании их в надлежащей обстановке: изготовление винтов требует серьезного теоретического обоснования их конструкции, большого опыта в работе и сложных способов приготовления и проверки их.



Фиг. 199.

Нарезка резьб на токарном станке производится следующим образом (фиг. 199): круглый стержень *A*, закрепленный в центрах, приводится во вращательное движение, — резец, установленный на суппорте, получает при этом поступательное движение и своим острием прорезает на цилиндрической поверхности винтовую канавку. Величина, на которую за один оборот стержня перемещается резец, называется подъемом, или шагом, винта. Величина шага задается либо непосредственно, например шаг 10 *мм*, шаг $\frac{1''}{4}$; или, как это принято в американских и английских системах, по отношению к 1″ длины в числе ниток, например „4 нитки на 1″“,

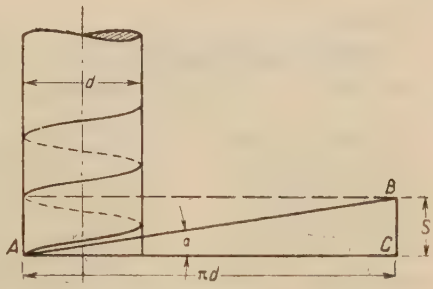
вместо того чтобы сказать „шаг $\frac{1''}{4}$“. Углом подъема винтовой линии называется угол α°, который образуется развернутой линией круга и прямой линией винта (фиг. 200).

Прямая

$$AC = \pi d.$$

Прямая

$$BC = S$$



Фиг. 200.

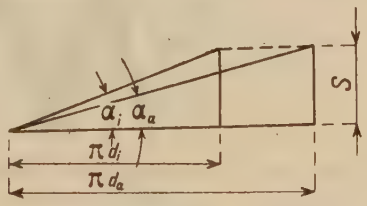
и прямая AB представляет собой развернутую винтовую линию. Угол, образуемый линиями AB и AC, равный α°, представляющий собой угол подъема, определяется из формулы:

$$\operatorname{tg} = \frac{S}{\pi d}.$$

Как видно из фигуры, угол α° легко можно определить графически: он зависит от шага винта S и от диаметра винта d, следовательно для каждого диаметра угол α° имеет вполне определенное значение (фиг. 201).

Этот угол таким образом для внутреннего и наружного диаметра будет различным, и величина его тем больше, чем меньше диаметр (фиг. 202).

Фиг. 201.



Фиг. 202.

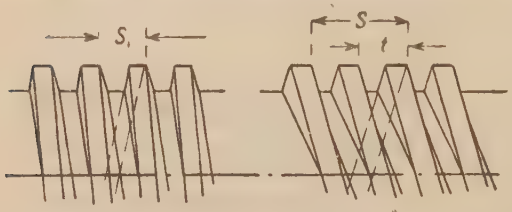
В практике обыкновенно задается среднее значение угла подъема, соответствующее среднему значению диаметра, равному среднему арифметическому наружного и внутреннего:

$$\frac{d_a + d_i}{2} = d_m.$$

Под многоходными резьбами понимаются такие, у которых имеется несколько параллельных между собой винтовых ходов равных размеров и одинаковых профилей. Они находят применение

там (фиг. 203), где шаг винтовой резьбы слишком велик по отношению к наружному диаметру; они обычно имеют большие углы подъема.

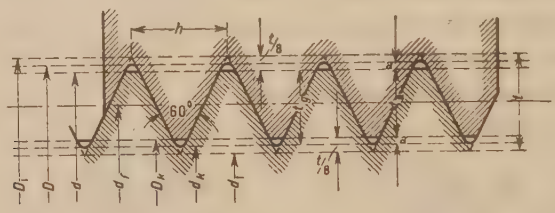
Многоходовые нарезки применяются всегда в этих случаях потому, что у одноходовых винтов внутренний диаметр получился бы слишком слабым (впадина была бы слишком глубока) и не выдержал бы необходимой нагрузки. Число ходов нарезки совершенно не зависит от шага, — профиль резьбы получается одинаковым, и расстояние между двумя соседними зубцами, называемое у многоходных винтов (t) делением винта, есть величина постоянная, равная шагу одноходного, — оно равно:



Фиг. 203.

$$t = \frac{S_n}{n} = S_1.$$

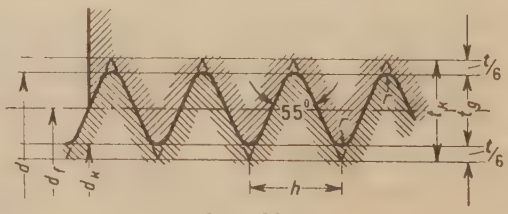
Форма профиля резьбы в высшей степени различна, — она определяется целью и назначением винтов. Наиболее употребительные



Фиг. 204.

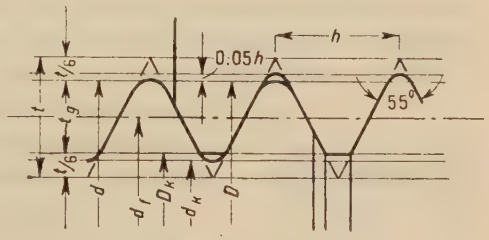
профили — треугольный, трапецоидальный и прямоугольный.

Из треугольных отметим резьбу $S \cdot J$ (метрическую) (фиг. 204) и чаще всего применяющуюся систему резьбы Витворта. Последняя бывает двух типов (фиг. 205), когда вершины впадин и выступов округлены у болтов и гайки и когда вершины выступов болта и вершины выступов гайки срезаны на плоскость (фиг. 206).



Фиг. 205.

Трапецоидальная резьба (фиг. 207) обычно строится с углом 29°, — в настоящее время по германским нормам этот угол принимают равным 30°.



Фиг. 206.

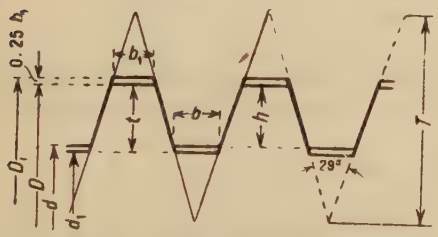
Прямоугольная резьба (фиг. 208) далеко не нормализована, однако, как общее правило, ширина впадины в радиальном сечении всегда делается равной ширине выступа так, что

$$S = a + b,$$

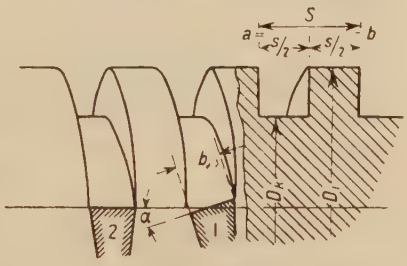
где

$$a = b = \frac{S}{2}.$$

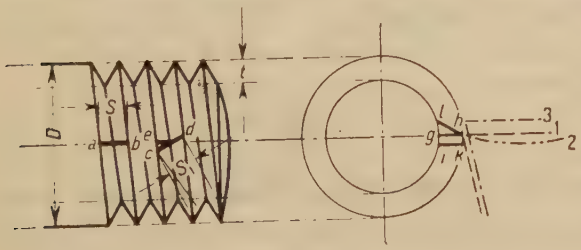
Исключение составляют резьбы, применяемые в различных аппаратах, где гайка служит подъемным механизмом; например винтовые пресса со скользящей гайкой: здесь ширина впадины несколько более ширины выступа, т. е. более половины шага. Профиль резьбы должен быть симметричным (исключение упорная резьба) в радиальном сечении и должен совпадать с линией *ab* или, что то же самое, с линией *gh*; установка резца при нарезании резьбы (фиг. 209) должна производиться строго по положению 1.



Фиг. 207.

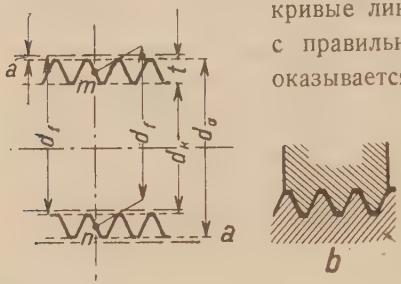


Фиг. 208.



Фиг. 209.

При неправильном положении или форме резца (положения 2—3) профиль получается неточным и в симметричном сечении совпадает с линиями ik или lh. Эти ошибки извращают профиль, и вместо образующих его прямых линий получаются иногда кривые линии. Может случиться, что резьба с правильным размером внешнего диаметра оказывается слабой в гайке; это имеет место, когда срезы или закругления на внутреннем диаметре (фиг. 210b) взяты большими. Чтобы избежать таких ошибок, нужно устанавливать наперед меру расстояния между двумя противолежащими точками винтовой линии, находящимися на прямой mn, перпендикулярной оси вращения и равной d_f (фиг. 210a).



Фиг. 210.

Дочертив профили до полных теоретических треугольников, найдем:

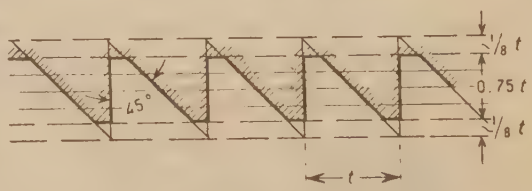
$$d_f = d_a + 2a - h.$$

Если речь идет о резьбе, у которой срезы внутреннего и внешнего диаметров делаются равными, то значение этой же величины найдем:

$$d_f = d_a - t.$$

Эта величина d_f должна быть точно выдержана для резьбы как на болте, так и в гайке, и тогда величины закруглений и срезов у выступов и впадин влияния уже не оказывают.

Кроме рассмотренных уже типов нарезки, весьма часто еще встречается так называемая упорная резьба, образующаяся от движения прямоугольного треугольника по винтовой линии (фиг. 211).

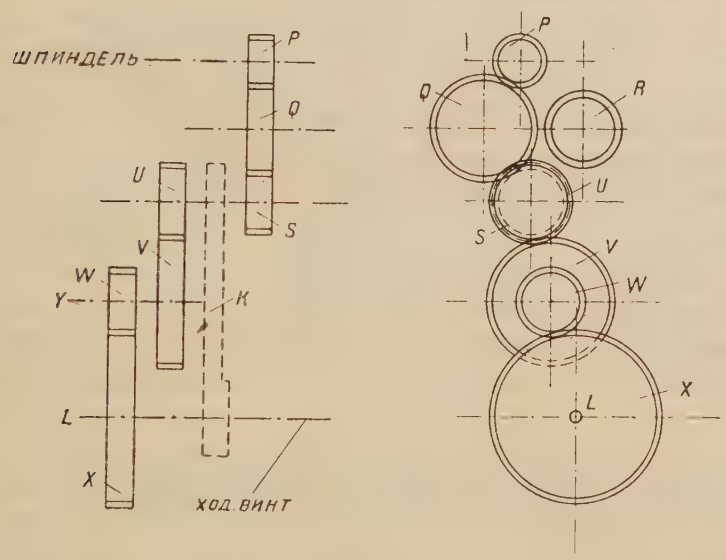


Фиг. 211.

Выступ и впадина срезываются наплоско на величину $\frac{1}{8}t$; угол заострения берут $\alpha = 45°$, и глубина резьбы получается

$$\frac{6}{8}t = 0{,}75\,t.$$

Для выполнения всякой резьбы необходимо так согласовать вращательное движение нарезаемого стержня с поступательным резца, чтобы каждому обороту изделия соответствовала подача, равная шагу винтовой линии. Но подача происходит вследствие вращения ходового винта в ведущей гайке суппорта, поэтому для получения данного шага необходимо, чтобы одному обороту изделия или шпинделя соответствовало такое число оборотов ходового винта, которое перемещает суппорт станины ровно на величину шага. Осуществить подобное соответствие числа оборотов ходового винта



Фиг. 212.

и шпинделя можно путем подбора необходимых шестерен, связывающих оба эти движения. Шестерня P передает вращение через Q или через R к S; шестерни Q и R находятся на перекидном механизме. Шестерня U сцепляется с шестерней V, которая через W передает вращение шестерне X и сообщает вращательное движение винту L. Шестерни U, V, W и X, монтированные на гитаре K, можно менять, почему они и носят название „сменных“ (фиг. 212).

Подбор необходимых сменных шестерней осуществляется весьма просто: если требуется нарезать резьбу длиной в 1″ при w нитках

на дюйме, и если ходовой винт имеет l ниток на одном погонном дюйме, то по предыдущему

$$i = \frac{n_e}{n_w} = \frac{l}{w} = \frac{\text{число зубцов ведущей шестерни}}{\text{число зубцов ведомой шестерни}}$$

для случая простой передачи или

$$i = \frac{n_e}{n_w} = \frac{l}{w} = \frac{\text{произведение зубцов ведущих шестерней}}{\text{произведение зубцов ведомых шестерней}}$$

для случая многократной передачи.

Сумма зубцов колес U и V должна быть менее суммы зубцов колес W и X для того, чтобы шестерни могли разместиться на гитаре.

Обычно к станку с ходовым винтом прилагаются следующие наборные шестерни с числом зубцов на ободе:

20, 20, 22, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100, 105, 110, 115, 120 (127 — метрич. шестер.), 157 — модульная.

Пример 1. Ходовой винт имеет шаг $\frac{1}{2}''$, требуется нарезать резьбу в 4 нитки на 1″.

Решение:

$$i = \frac{l}{w} = \frac{2}{4}.$$

Помножив числитель и знаменатель на 20, найдем

$$i = \frac{40}{80}.$$

$U = 40$, V произвольно, $X = 80$.

Пример 2. Ходовой винт имеет $l = 2$ нитки, нарезаемое изделие $w = 19$.

Решение:

$$i = \frac{l}{w} = \frac{2}{19} = \frac{2}{6} \cdot \frac{6}{19} = \frac{20}{60} \cdot \frac{30}{95},$$

т. е.

$$U = 20;\ V = 60;\ W = 30 \text{ и } X = 95;$$

$$U + V < W + X;$$

$$80 < 125.$$

Пример 3.

$$l = 4 \text{ и } w = \frac{1}{3} \text{ на } 1''.$$

Решение:

$$i = \frac{l}{w} = \frac{4}{1/3} = 12,$$

$$12 = \frac{4}{1} \times \frac{3}{1} = \frac{120}{30} \times \frac{105}{35},$$

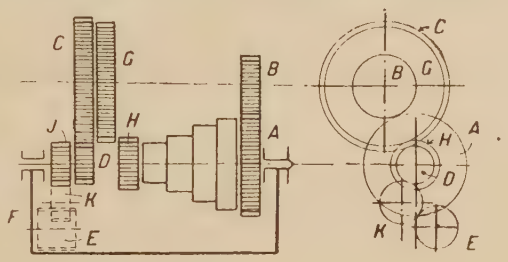
т. е.

$$U = 105;\ V = 35;\ W = 120 \text{ и } X = 30;$$

$$U + V < W + X;$$

$$140 < 150.$$

При нарезании винтов с крупным подъемом (пример 3) получается большое усилие на зубцы шестерен. Ходовые винты с большим числом ниток здесь не пригодны, так как они вызывают большую передачу. Станки, употребляемые в этих случаях, имеют еще дополнительную откидную зубчатую передачу (фиг. 213), которая идет от шестерни D, соединенной со ступенчатым шкивом к откидному механизму F. При вращении этого механизма скорость вращения ступенчатого шкива и шпинделя увеличивается и дает возможность сократить передачу сменными шестернями.



Фиг. 213.

Шестерня может приводиться либо от J, сидящей на шпинделе, либо от D, соединенной со шкивом помощью K.

Пусть число зубцов на передней бабке следующее:

$$A = 70;\ C = 84;\ G = 60;$$

$$B = 21;\ D = 28;\ H = 50.$$

Ступенчатый шкив при включенном переборе с шестерней D

$$\frac{A}{B} \times \frac{G}{D} = \frac{70}{21} \times \frac{84}{28} = 10$$

вращается быстрее шпинделя и именно так, что шестерня E делает в 10 раз больше оборотов, чем шпиндель.

Включение шестерен от A до E дает таким образом постоянное передаточное число 10:1.

Пример 4. Число ниток ходового винта 4, требуется нарезать винт с $w = \frac{1}{3}$ на 1″.

Решение: Пользуясь предыдущим, имеем:

$$i = \frac{l}{w} = \frac{4}{1/3} = \frac{12}{1} = \left[\frac{10}{1}\right] \times \frac{1,2}{1} = \left[\frac{10}{1}\right] \times \frac{60}{50},$$

т. е.

$$U = 60;\ V = \text{произвольное и } X = 50.$$

Если вместо G и D включить S и H, то ступенчатый шкив с шестерней D будет вращаться быстрее шпинделя в

$$\frac{A}{B} \times \frac{G}{H} = \frac{70}{21} \times \frac{60}{50} = 4 \text{ раза},$$

и предыдущий пример разрешится таким образом:

$$i = \frac{l}{w} = \frac{4}{1/3} = \frac{12}{1} = \left[\frac{4}{1}\right] \times \frac{3}{1} = \left[\frac{4}{1}\right] \times \frac{3}{1,5} \times \frac{1,5}{1} =$$

$$= \left[\frac{4}{1}\right] \times \frac{100}{50} \times \frac{120}{80},$$

т. е.

$$U = 100;\ V = 50;\ W = 120 \text{ и } X = 80.$$

Такая передача окажется естественно менее удачной, чем полученная при отношении 10:1.

Пример 5. Ходовой винт имеет метрическую резьбу с шагом 10 *мм*, т. е. $l = 1$ на 1 *см*. Нарезать винт с шагом в 2,5 *мм*, т. е. $w = 4$ на 1 *см*.

Решение:

$$i = \frac{l}{w} = \frac{1}{4} \times \frac{25}{25} = \frac{25}{100},$$

т. е.

$$U = 25;\ V = \text{произвольно};\ X = 100.$$

Пример 6.

$$l = 1 \text{ на } 1 \text{ см};\ w = 8.$$

Решение:

$$i = \frac{l}{w} = \frac{1}{8} = \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{2} = \frac{20}{80} \times \frac{45}{90},$$

т. е.

$$U = 20;\ V = 80;\ W = 35 \text{ и } X = 90.$$

Пример 7. $l = 4$ нитки на 1″, требуется нарезать метрическую резьбу с шагом в 1 *мм*.

Решение:

$$1'' \cong 25{,}4 \text{ мм},$$

$$l = 4 \text{ нитки на } 1'',$$

$$w = \frac{25{,}4}{1} \text{ нитки на } 1',$$

$$i = \frac{l}{w} = \frac{4}{\frac{25{,}4}{1}} = \frac{20}{127},$$

т. е.

$$U = 20;\ V = \text{произвольно};\ X = 127 \text{ (метрич. шест)}.$$

Пример 8. Ходовой винт имеет шаг 10 *мм*, требуется нарезать английскую резьбу 11 ниток на 1″.

Решение:

$$l = 1 \text{ нитке на } 1 \text{ см},$$

$$l = \frac{2{,}54}{1} = 2{,}54 \text{ на } 1'',$$

$$w = 11 \text{ ниток на } 1'',$$

$$i = \frac{l}{w} = \frac{2{,}54}{11} = \frac{254}{1\,100} = \frac{127}{550} =$$

$$= \frac{127}{110} \times \frac{110}{550} = \frac{127}{110} \times \frac{20}{100},$$

т. е.

$$U = 30;\ V = 100;\ W = 127 \text{ и } X = 110.$$

Пример 9. Ходовой винт имеет шаг 10 *мм*, нужно нарезать червяк с шагом 7π *мм*.

Решение:

$$\pi = 3{,}1415927 \cong 3{,}14,$$

$$l = 1 \text{ нитка на } 1 \text{ см},$$

$$w = \frac{1}{0{,}7\pi} \text{ ниток на } 1 \text{ см},$$

$$i = \frac{l}{w} = \frac{1}{1/0{,}7\pi} = \frac{0{,}7\pi}{1},$$

$$i = \frac{0{,}7}{1} \times \frac{3{,}14}{1} = \frac{70}{100} \times \frac{157}{50},$$

т. е.

$$U = 70;\ V = 100;\ W = 157 \text{ (модульн. шестер.)};\ X = 50.$$

Здесь шаг червяка тоже приблизительный:

теоретический шаг	$7 \times 3{,}1415927$	$= 21{,}9911489$ *мм*
приближенный шаг	$7 \times 3{,}14$	$= 21{,}98$ *мм*
ошибка шага		$-\ 0{,}0111489$ *мм*

Чтобы при нарезании с метрического шпинделя модульной нарезки избежать неудобной шестерни 157 зубцов, примем:

$$\pi = \frac{22}{7} = 3{,}1416666 + \frac{2}{10\,000} \text{ ошибки},$$

т. е.

$$\frac{2}{10{,}000}(\pi + 3{,}1416666).$$

Пример 10. Ходовой винт имеет $l = 5$ *мм*, червяк имеет ход, равный 3π *мм*.

Решение:

$$l = 2 \text{ нитки на } 1 \text{ } см,$$

$$w = \frac{1}{0{,}3\pi} \text{ ниток на } 1 \text{ } см.$$

$$i = \frac{l}{w} = \frac{2}{1/0{,}3\pi} = \frac{0{,}6\pi}{1} = \frac{0{,}6}{1} \times \frac{13}{4} \times \frac{28}{30} = \frac{6}{10} \times \frac{13}{4} \times \frac{29}{30} = \frac{13}{4} \times \frac{29}{50} =$$

$$= \frac{13}{8} \times \frac{58}{50} = \frac{65}{40} \times \frac{58}{50},$$

т. е.

$$U = 58 \text{ (специальная)};\ V = 40;\ W = 65 \text{ и } X = 50.$$

Пример 11. Ходовой винт имеет $l = 2$ нитки на $1''$, требуется нарезать резьбу в $7\frac{3}{4}$ нитки на $1''$.

Решение:

$$i = \frac{l}{w} = \frac{2}{3^1/_4} = \frac{8}{31}.$$

Сменных шестерен для такой передачи вообще не имеется. Нахождение числа зубцов сменных шестерен для таких передач производится помощью счетной линейки. Число 8 на верхнем ряду

линейки сдвигают с числа 31 на выдвижном язычке; затем перемещается стеклянный бегунок по верхней строке на число 20, 22, 25, 30, 35, 40, 45 и т. д., ищут на выдвижном язычке наиболее близкое совпадение с имеющимся набором шестерен. В нашем случае это 22 и 85.

$$i = \frac{l}{w} = \frac{8}{31} = \frac{22}{85},$$

т. е.

$$U = 22; \ V = \text{произвольное}; \ X = 85.$$

Проверка:

$$\frac{l}{w} = \frac{2}{w} = \frac{22}{85}.$$

Следовательно,

$$W = \frac{2 \times 85}{22} = \frac{85}{11} = 7\frac{8}{11} = 7{,}718 \text{ ниток на } 1''.$$

Требовалось

$$W = 7{,}75 \text{ ниток на } 1''.$$

Эта сравнительно небольшая ошибка может быть во многих случаях смело допущена, особенно если приготовляемая нарезка имеет небольшую длину нарезаемой части и самая нарезка не требует особой инструментальной точности.

Применение счетной линейки в высшей степени удобно: оно значительно облегчает работу и при навыке дает достаточную точность.

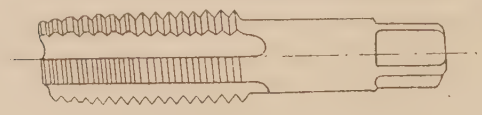
Метчики.

Метчики служат для нарезания резьбы в готовых отверстиях: они представляют собой цилиндрические стержни, по образующей

Фиг. 214а.

которых сделана винтовая резьба. Чтобы метчик мог нарезать резьбу, его необходимо снабдить режущими гранями, и это достигается тем, что по направлению его оси резьбовые нитки прорезаются канавками, края которых соответственно стачиваются и образуют лезвия (фиг. 214).

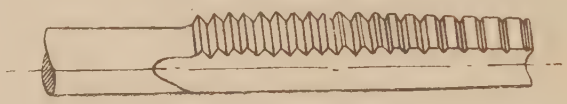
Так как сразу погружать метчик и материал на всю глубину резьбы невозможно, то нитки его стачиваются к концу на конус: эти нитки не представляют собой уже полного профиля резьбы, а являются частью его, уменьшающеюся книзу все больше и больше, и последний виток своим нижним основанием должен входить в просверленную дыру, т. е. он стачивается совершенно до внутреннего диаметра резьбы.



Фиг. 214 б.

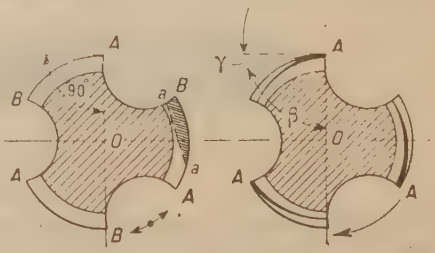
Коничность метчиков составляет обычно $\frac{1}{40}-\frac{1}{50}$, лишь у коротких метчиков $\frac{1}{25}$.

Нарезанная часть метчиков состоит из двух частей: AB — цилиндрической, имеющей полную резьбу на длине несколько превышающей $1\frac{1}{2}$ диаметра, т. е. более высоты нормальной гайки, и из части BC, имеющей форму конуса с постоянно убывающей глубиной винтовых нарезок так, что нижнее звено ее срезано вплоть до внутреннего стержня, — эта длина получается из размера конечности от $\frac{1}{25}$ до $\frac{1}{50}$ (фиг. 215).



Фиг. 215.

Лезвия в точках A при работе в направлении часовой стрелки являются режущими, при вращении в направлении против стрелки режущими будут ребра B. Такой метчик будет двухсторонним (фиг. 216a), угол установа у него — 0°, благодаря чему задняя грань трет по прорезанной канавке и метчик работает тяжело, зато имеет большое и надежное направление по поверхностям AB.



Фиг. 216.

Иногда после нарезки канавок заднюю грань AB стачивают по спирали, тогда режущая грань будет лишь в ребрах A (фиг. 216b).

Метчик работает в этом случае очень легко, но имеет только одно направление рабочего вращения, и приготовление его обходится значительно дороже. Такой метчик имеет и худшее направление. Здесь угол резания

$$\alpha^\circ = \gamma^\circ + \beta^\circ = 90 \text{ и } \gamma^\circ = 3^\circ \div 5^\circ.$$

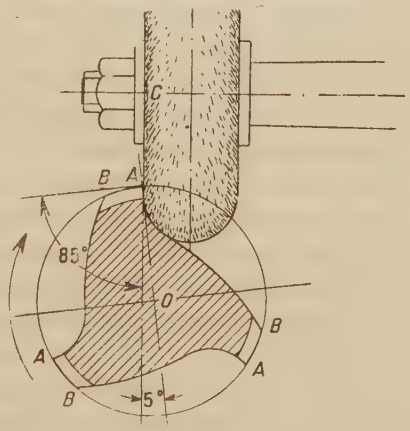
Чтобы облегчить работу метчика, но сделать его изготовление не очень дорогим (фиг. 216*a*), у обыкновенного двухстороннего метчика стачивают или спиливают часть цилиндрической задней грани *aB*, отчего он становится односторонним, режет немного легче, но также не имеет угла установа и теряет часть своего надежного направления. Здесь угол резания

$$\alpha^\circ = \beta^\circ + \gamma^\circ = 90^\circ; \ \gamma = 0^\circ.$$

Метчики с углом резания в 90° вполне применимы и хорошо работают при снятии стружки с твердых металлов — как твердая сталь, чугун, твердая бронза. При нарезке резьбы в мягких и вязких металлах — железо, медь, латунь и пр. — такие метчики будут работать очень тяжело и не дают чистой поверхности.

Для облегчения работы употребляют метчики с наивыгоднейшим углом резания (фиг. 217).

$$\alpha^\circ = \gamma^\circ + \beta^\circ < 90^\circ \ (82^\circ \div 87^\circ).$$

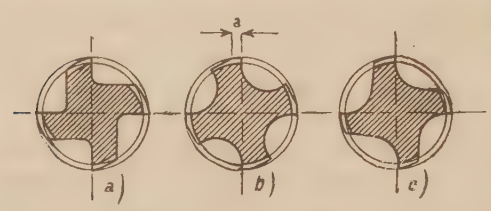


Фиг. 217.

Приготовляются они заточкой путем перемещения шлифующей плоскости круга из радиального положения в положение *DAC*, в силу чего радиус *AO* в точке *A* с направлением *DAC* образует угол установа, равный 5° ÷ 7° и угол резания получается 82° ÷ 85°.

Кроме трехканавочных метчиков их часто готовят с четырьмя канавками, и когда они назначаются для работы на станках, где скорости резания относительно велики, их всегда готовят с задней заточкой (фиг. 218 *a* — *c*), или же для уменьшения трения часть задней грани срезают (фиг. *b*) и оставляют нетронутой лишь небольшую поверхность *a*.

Недостаток таких метчиков заключается в том, что при заточке они уменьшают свой диаметр и становятся непригодными для получения правильной резьбы. Благодаря легкости работы они применяются главным образом для прогонки готовых резьб начисто, — в этом случае, снимая очень тонкий слой металла, они работают долго, не затупляясь, и оказываются весьма выгодными, если кроме того не считаться с их значительно худшею направляемостью.



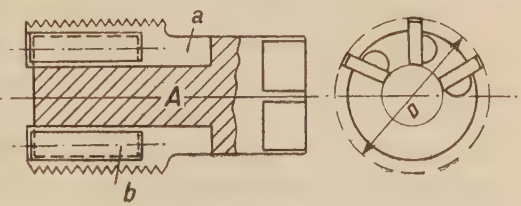
Фиг. 218.

Чтобы улучшить направление такого метчика, ему обыкновенно дают несколько канавок и иногда прорезают их по спирали с подъемом 8—10 диаметров (фиг. 219*a*, *b*).

Тогда направление значительно улучшается в силу того, что в работе находится одновременно множество точек, расположенных по всей поверхности вращения. Эти метчики употребляются в точной механике и находят широкое применение главным образом для ответственных и мелких резьб. Для окончательного чистого прохода нарезанных дыр эти метчики делаются цилиндрическими и благодаря тому, что каждая грань снимает очень тонкую стружку, они оказываются весьма долговечными, — это так называемые маточные метчики. Для глубоких сверлений их делают очень длинными и концы иногда снабжают конусами. Приготовление метчиков со многими режущими гранями и спиральными канавками обходится очень дорого, и закалка их представляет большие трудности и не малый риск. На практике такие длинные метчики обыкновенно разделяют на три коротких, образующих так называемый комплект. Один из них, имеющий почти по всей длине нарезанной части конус, носит название чернового метчика № 1; верхний наиболее полный виток его, равный по диаметру нижнему витку следующего номера метчика, составляет 0,6 d окончательного. Второй метчик № 2 имеет на $\frac{2}{3}$ снизу коническую резьбу и на $\frac{1}{3}$ длины доверху представляет цилиндрическую резьбу, однако и ее витки неполные; диаметр витков цилиндрической части равен по диаметру

Фиг. 219.

0,85 ÷ 095 d окончательного. Третий метчик — № 3 или так называемый чистовой, по всей длине цилиндрический и лишь два-три нижних витка сделаны на конус — для затравки по диаметру предыдущего. При очень большом требовании на чистоту после третьего метчика дыру прогоняют иногда еще маточным метчиком. Трехкомплектные метчики чаще всего употребляются для ручных работ в клуппе; машинные работы на станках требуют чаще одного длинного метчика, сделанного с конусом: они напоминают собой маточные метчики и ради дешевизны делаются трех- или четырехканавочными.



Фиг. 220.

Для нарезания резьб большого диаметра метчики приготовляют не из одного куска, а со вставными нарезанными гребнями, как это делается у фрез (фиг. 220).

Гребенки a, точно профрезированные по длине, вставляются в оправку, подобную корпусу A, диаметром D и в ней как в целом нарезают резьбу. Нарезанные и закаленные гребенки переносят в корпус A и, проверивши расположение граней, закрепляют коническими крыльями b. Гребенки a делают с заднею заточкой и подшлифовывают радиальными плоскостями. Недостаток рассмотренных метчиков заключается в том, что они при заточке теряют свой размер и при изготовлении требуют весьма больших затрат.

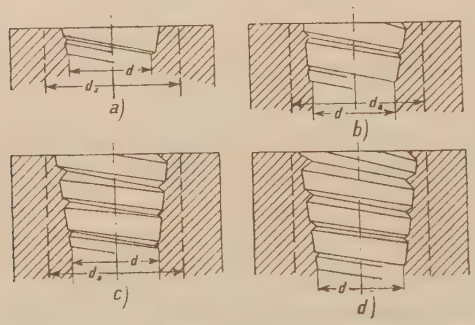
Работа метчиком.

Работу метчика можно рассматривать, как резание внутри канала целым рядом резцов, расположенных своими лезвиями на винтовой линии по цилиндрической поверхности и имеющих общую подачу, равную величине подъема винтовой линии.

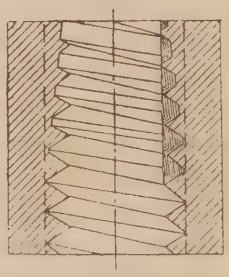
Так как метчик сразу углубиться на величину выступа профиля не может, то можно себе представить, что последовательные лезвия резцов постепенно удлиняются и прорезанные предыдущими резцами канавки углубляются последующими резцами. При работе метчиком (фиг. 221 a — d) после первого оборота получается коническое расширение (рис. a) на первую нитку. После второго оборота первая канавка расширилась и углубилась, а вторая появилась вновь по размеру полученной при первом обороте.

При третьем обороте две предыдущие канавки расширились еще более, и кроме того образовалась новая третья. При четвертом обороте расширились три первые канавки, и получилась еще одна новая четвертая, и так далее, пока метчик не войдет своей цилиндрической частью (фиг. 222) и, последовательно углубляясь, не проникнет своими полными витками через всю глубину изделия.

Следовательно для работы метчиком нужно высверлить дыру диаметром, равным внутреннему диаметру резьбы (на практике сверлят немного более) и пока всю глубину дыры не пройдут нитки метчика, имеющие диаметр d_a, равный наружному диаметру резьбы последнюю нельзя считать оконченной — она всегда будет слишком



Фиг. 221.



Фиг. 222.

тугой, особенно внизу, если через последнее звено не прогнать достаточного числа витков, снабженных полным профилем резьбы.

С увеличением числа оборотов метчика растет и его работа, так как при входе каждого нового витка снимается стружка со всех предыдущих и вырезается еще новая канавка. Но в виду того, что по мере углубления метчика ширина сжимаемой стружки все более и более уменьшается, работа растет не пропорционально числу оборотов метчика, а несколько медленнее.

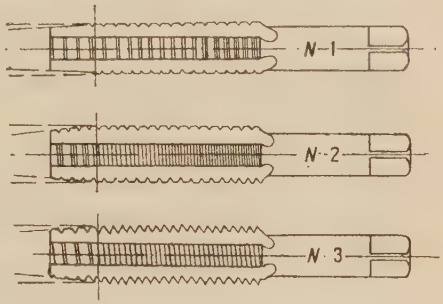
Когда образовался первый полный виток резьбы, работа метчика достигла своего максимума и после этого до конца снова начинает постепенно убывать.

Классификация метчиков.

Метчики по своему назначению разделяются на: слесарные, употребляемые с воротком, и машинные, употребляемые для работы на станках.

Слесарные по характеру исполняемой ими работы разделяются на цилиндрические и конические.

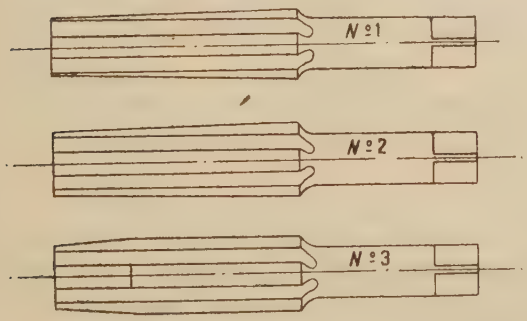
Цилиндрические, у которых глубина витков по всей длине одинаковая и только два-три первых срезаны на конце для заправки, составляют комплект из трех штук (реже из двух штук) и употребляются для нарезки несквозных дыр (фиг. 223).



Фиг. 223.

Конические, у которых нитки срезаны по конусу с убывающей книзу глубиною витка, употребляются комплектами по три штуки в каждом и служат для нарезания сквозных отверстий (фиг. 224).

Третий чистовой метчик можно считать цилиндрическим, ибо у него конусность очень мала и распространяется всего на две-три первые нитки.

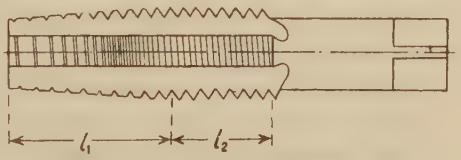


Фиг. 224.

Гаечные метчики (фиг. 225) делаются значительно длиннее слесарных, с длинной конической частью. Это требуется потому, что гайки должны нарезаться с одного метчика и срезание стружки должно быть распределено на возможно большее число ниток.

Маточные метчики обыкновенно короткие и имеют по всей длине цилиндрическую форму, — служат для прогонки готовой резьбы.

К числу слесарных метчиков относятся еще метчики специального назначения, как то: для котельных и паровозных работ.



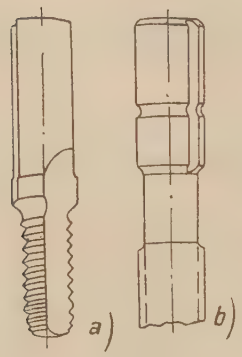
Фиг. 225.

Машинные метчики обычно делаются по одному в комплекте; они употребляются также для нарезания несквозных дыр и тогда имеют цилиндрическую форму с заточкою двух-трех первых ниток или для нарезания

сквозных отверстий и тогда имеют форму цилиндра, переходящего в конус, наподобие гаечного метчика (фиг. 225).

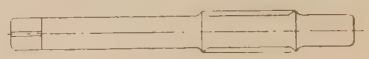
В зависимости от метода закрепления хвост их бывает обыкновенный с квадратом на конце и несколько более длинный для удобства захвата, или же удлиненный хвост делается с продольною канавкою (фиг. 226*a*).

Такие метчики предназначаются для работы на сверлильных станках в особых самовыключающихся приспособлениях, освобождающих метчик в тот момент, когда он своим конусом или заплечиком упрется в дно или край дыры. Метчики, снабженные канавками (фиг. 226*b*) на утолщенном хвосте, употребляются во втором случае и чаще всего применяются в самовыключающихся головках на револьверных станках.



Фиг. 226.

Гаечные машинные метчики отличаются вообще говоря от таковых же


Фиг. 227.

слесарных и длиной своей нарезанной части и длиною хвоста. Это необходимо для того, чтобы иметь возможность сразу прорезать несколько гаек, спуская готовые на хвостовую часть. Иногда такие метчики имеют еще второй направляющий хвост (фиг. 227).

Изготовление метчиков.

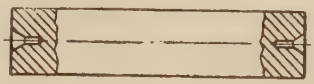
Изготовление метчиков, как и фрез, требует определенных приемов и последовательности обработки, при исполнении которых почти всегда обеспечивается удовлетворительная работа метчика.

Куют метчики исключительно редко, лишь в случаях, когда хвост их должен иметь особую форму или когда самый метчик имеет слишком большие размеры, вообще ковку нужно избегать, да и по существу она здесь является лишней.

При изготовлении метчика, операции по его изготовлению распадаются на два периода — до закалки и после нее.

Операции до закалки.

1) Отрезка материала из прутка производится чаще всего на револьверном станке, причем одна сторона прутка здесь же зацентровывается; применяются также для отрезки токарные станки, специальные отрезные и при малых диаметрах иногда приводные пилы. Рубить материал, особенно в холодном состоянии, не рекомендуется. Размер стали для изготовления метчиков нужно выбирать полнее наружного диаметра резьбы на 1—3 *мм*, чтобы обеспечить чистую поверхность для винтовых ниток без пленок, трещин и прочих поверхностных пороков.

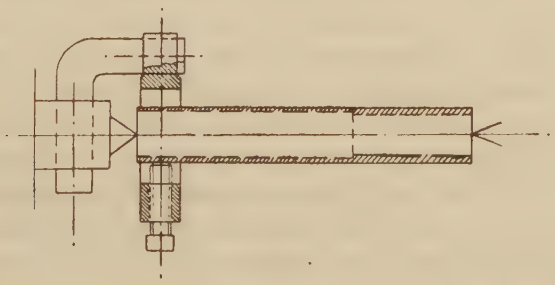


Фиг. 228.

2) Центровка заготовляемых кусков производится лучше всего на специальных центровочных станках, а при их отсутствии на токарных (фиг. 228).

3) Наружная обточка. Эту работу целесообразно разбивать на две части: 1) обдирка с припуском в 0,3—0,5 *мм* по диаметру и 2) отделка в точную меру по внешнему диаметру резьбы и в точный размер хвоста (фиг. 229).

При массовом производстве такое разделение является совершенно необходимым, вообще же оно полезно, ибо дает возможность своевременно обнаруживать пороки материала, уничтожает излишнюю волокиту со сменою и установкою резцов и дает возможность для обтирки и для отделки иметь фиксированные упоры для резцов.

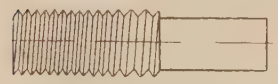


Фиг. 229.

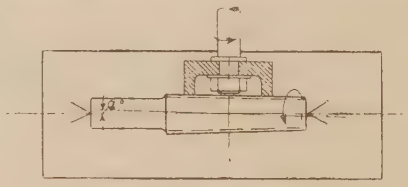
4) Нарезка резьбы на цилиндрической поверхности метчика представляет собой самую ответственную часть его изготовления, поэтому она поручается опытному токарю и производится на точном токарном станке.

Подобравши, как это требуется по заданию, необходимые наборные шестерни, токарь предварительно нарезает нагрубо резьбу обыкновенным резцом (для резьб до 12 ниток на 1") и достигнув глубины впадины на 0,6÷0,7 ее окончательного размера, дальнейшую отделку ведет однозубой или многозубой гребенкой, снимая за каждый проход очень тонкую стружку. Чтобы резьба получалась чистая и глянцевая, необходимо снимать слой металла толщиной от 0,25 до 0,35 *мм*. Иногда при большом производстве метчиков грубую отдирку резьбы производят на резьбофрезерных станках, а окончательно отделывают и „доводят" до меры гребенками на точных винторезно-токарных станках. Этот способ значительно ускоряет производство работы, но такой чистоты резьба уже не имеет.

При работе на токарном станке надо помнить, что несмотря на все меры охраны и сбережения ходового винта небольшой мертвый ход у него наблюдается почти неизбежно. Поэтому необходимо



Фиг. 230.



Фиг. 231.

резец к метчику подводить всегда в одном направлении и если работа начата справа налево, то так ее и нужно продолжать до конца, ибо если пустить самоход обратно, то резец в силу зазора между гайкой и винтом в первый момент останется в покое, а затем начнет срезать одну сторону. Резьба получится неправильная, канавки в ней будут широкими, а выступы — узкими. После операции нарезания резьбы метчику (фиг. 230) нужно обеспечить необходимую коничность для того, чтобы он мог углубляться в металл постепенно.

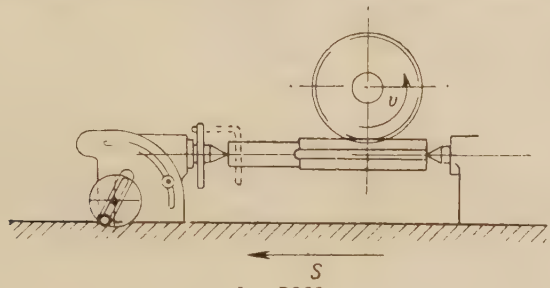
5) Подрезка ниток на конус. Эта операция производится на шлифовальном станке поворотом стола на половину угла конуса, При выполнении той же работы на токарном станке срезанная стружка образует заусеницы, снятие которых может вызвать повреждение профиля резьбы, поэтому такую работу предпочтительно выполнять шлифованием на универсально шлифовальном станке (фиг. 231).

6) Фрезеровка канавок. Эта операция для образования режущих граней и для выхода стружки обычно производится на

фрезерном станке помощью специальных фасонных фрез (фиг. 232).

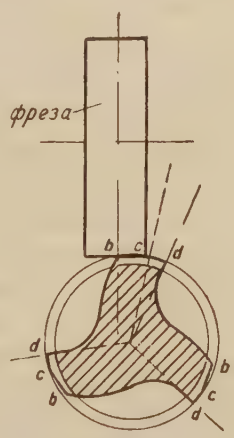
В обыкновенных метчиках число канавок делается от 3 до 5 в зависимости от диаметра, и они имеют направление по образующей параллельно оси вращения.

В метчиках, служащих для нарезки винторезных досок, плашек и чистой прогонки резьб делают иногда и большее число канавок по спирали, тогда метчик устанавливается на универсально-фрезер-



Фиг. 232.

ном станке с необходимым поворотом стола. Метчик получает поступательную подачу и вращение от делительной бабки, фреза — только рабочее вращательное движение. Ту же работу можно исполнять и специальным шлифовальным кружком, но в виду того, что образующиеся при фрезеровании заусеницы при точке и проверке пазов после закалки все равно выводятся — лучше пользоваться фрезой.



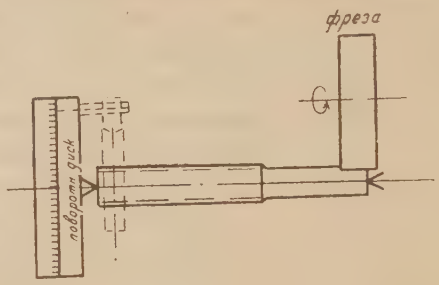
Фиг. 233.

7) Снятие задней грани. Эта операция производится на обыкновенном фрезерном станке (фиг. 233) простою аксиальной фрезой *a* по прямым плоскостям *bc*, сохраняя лишь узкую цилиндрическую полоску *cd*. У большинства слесарных метчиков и часто у машинных этой работы совсем не производят, оставляя метчик двухсторонним.

Работает такой метчик тяжело, но зато он дешевле в изготовлении, лучше центрируется при работе и не так быстро изнашивается.

8) Фрезеровка квадрата на хвосте. Если метчик приготовляется для работы с воротком, то он на конце обязательно имеет

квадрат для захвата. Машинные метчики имеют либо просто круглый хвост, либо снабжаются шпоночной канавкою. В первом случае, сейчас же после обточки и до нарезания резьбы, метчик переносят на фрезерный станок (фиг. 234) и, укрепив в центрах с поворотным диском у поводкового патрона, служащего делителем, его в четыре поворота фрезируют обыкновенной аксиальной фрезой.



Фиг. 234.

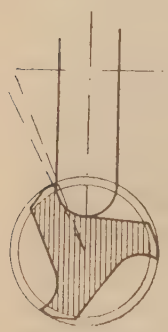
Иногда устраивают специальный зажим, поварачивающий метчик на 90°.

У машинных метчиков шпоночная канавка фрезируется после того, как он окончательно отделан и перед самой закалкой. Работу производят либо небольшой прорезной (пазовой) фрезой, либо шпоночной — торцовой.

Операции после закалки.

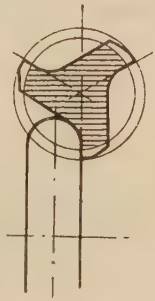
Закалка для метчиков в общем мало отличается от калки торцевых и шпоночных фрез. Нагрев метчиков производится в муфельных печах и так как работа метчиков не вполне спокойна и по мере углубления нарезанной части в материал они подвергаются все бо́льшему и бо́льшему скручиванию, то отпуск для них после закалки обязателен. Степень отпуска зависит от назначения метчика, его длины и способа закрепления, — в среднем нагрев — около 240° С.

9) Точка метчиков. Исправление метчика, если он изменит размеры или покоробится после калки, очень трудно и достигает цели в редких случаях, чаще же всего их отжигают и употребляют как материал на метчики меньшего размера Проверенный после калки метчик подлежит окончательной наточке, заключающейся в том, что переднюю грань каждой канавки прошлифовывают наждачным или алундовым кружком так, чтобы угол резания равнялся 90°: это обычный способ заточки метчиков, работающих по металлу (фиг. 235).


Фиг. 235.

Однако, если желают получить метчик, работающий легко и дающий сплошную стружку, то угол резания делают менее 90°,

подводя его к наивыгоднейшему. Для вязких металлов и не очень твердых (медь, латунь и пр.) угол резания берут 85°÷87° и тогда заточку ведут поворотом (фиг. 236) метчика к кругу на угол $\alpha°$

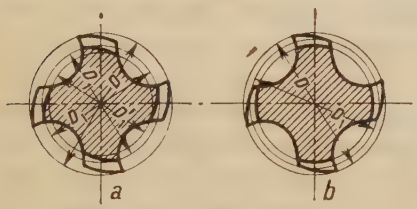


Фиг. 236.

Значение задней заточки.

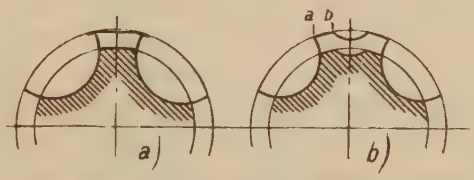
Так как взгляды техников на заднюю заточку у метчиков крайне противоречивы, а самое исполнение ее у разных заводов весьма разнообразно и резко отличается друг от друга, то рассмотрение этого вопроса в порядке сопоставления существующих конструкций будет вполне уместным. Метчик называется изготовленным с заднею заточкой, если второе ребро задней грани лежит ближе к оси вращения, чем первое ребро пересечения передней и задней грани, т. е. (фиг. 237) если $D_1 < D$ и $D'_1 < D'$.

Цель задней заточки — дать режущему ребру угол установа, чтобы получился угол резания $< 90°$; этим достигается уменьшение трения и метчик легче работает. Заднюю заточку выполняют подрезанием наружного и внутреннего диаметров $D \div D_1$ и $D' \div D'_1$ (фиг. 237*a*) или только подрезанием одного наружного $D \div D_1$ (фиг. 237*b*).



Фиг. 237.

Первый способ дает постоянно при новых заточках один и тот же профиль резьбы, второй же при постепенном стачивании метчика этот профиль минует, делая резьбу более мелкой и тупой. В обоих случаях размер диаметра нарезки с новыми заточками уменьшается; такие метчики хороши лишь для чистой прогонки готовых резьб, но и при обдирке они дают более легкую, а потому и более дешевую работу.



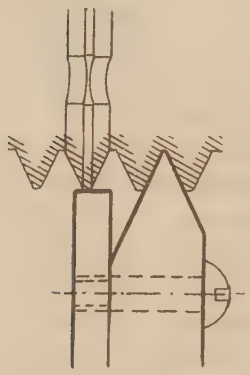
Фиг. 238.

Благодаря малой ведущей поверхности, направление у таких метчиков не вполне надежно.

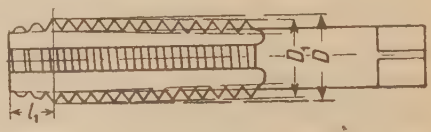
Стремление уничтожить недостатки заточенных метчиков вызвало целый ряд новых конструкций (фиг. 238).

В этом случае заднюю заточку выполняют только на средней части задней грани (фиг. 238*a*) срезом внутреннего и наружного диаметров и боков по прямой или (фиг. 238*b*) прорезая на затылочном станке сдвоенным резцом углубления по тому же начальному профилю (фиг. 239).

Преимущества этих конструкций в их хорошем направлении в двухстороннем лезвие, в сравнительной легкости работы и в том, что они сохраняют размер диаметров резьбы значительно продолжительнее, пока не будет сточена вся ширина „*ab*“.



Фиг. 239.

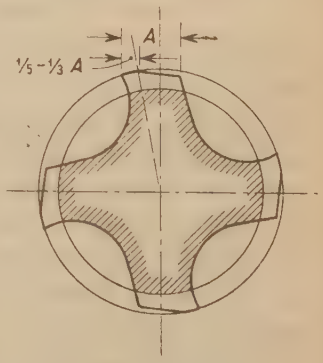


Фиг. 240.

Их недостаток составляет большая дороговизна изготовления задней заточки, трудность, а подчас и полная невозможность осуществить ее для мелких резьб и наконец слабость режущих граней (ребер).

Легко работающие метчики могут быть выполнены и без задней заточки (фиг. 240) — делается обыкновенный цилиндрический метчик и перед нарезкой ему на длине 3 -5 ниток дается форма правильного цилиндра, а далее вверх к хвосту он получает коничность, убывающую на величиину $D - D_1$, равную $0{,}015 \div 0{,}06$ *мм*.

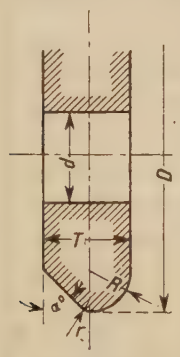
Резьба по всей длине делается полной; две-три первых нитки стачиваются на конус для затравки при начале резания. Метчик работает почти так же легко, как и с задней заточкой; направление его значительно лучше, чем у заточенного и при последующих заточках он размеров не меняет. Благодаря сравнительно небольшой длине направление его все же хуже чем у простого метчика, но зато меньше и трение.



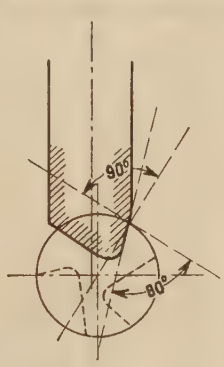
Фиг. 241.

Машинные маточные метчики, состоящие из первой конической и последующей цилиндрической части делаются так, что задняя за-

точка на конце, производящем обдирку, исполняется по типу (фиг. 237) рисунка I, а цилиндр затачивается так, что у него остается $\frac{1}{5} \div \frac{1}{3}$ A нетронутой винтовой резьбы. При сравнительной



Фиг. 242.



Фиг. 243.

легкости резания и хорошем направлении эти метчики дают чрезвычайно чистую работу (фиг. 241).

Для изготовления метчиков с задней заточкой необходимо брать специальные фрезы для канавок (фиг. 242) по данным в ниже приведенных таблицах:

Таблица 19.

Диаметр в дюймах	Число канавок	Угол $a°$	Диаметр фрезы D мм	Диаметр отверстия d
$\frac{1}{16}$ — $\frac{1}{8}$	3	60	44,5	22
$\frac{5}{32}$ — $\frac{11}{16}$	4	45	44,5	22
$\frac{3}{4}$ — $\frac{15}{16}$	4	45	57,0	27
1 — $1\frac{3}{4}$	4	45	64,0	27
$1\frac{7}{8}$ — 4	6	40	64,0	27

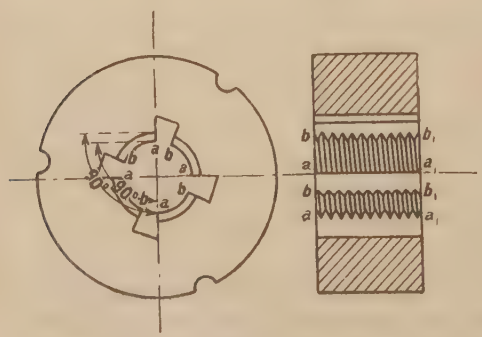
Обычные продажные метчики при нарезании резьбы в меди и латуни всегда оказываются весьма плохими в работе. Для изготовления у них канавок берут специальные фрезы (фиг. 243), образующие угол резания около 80°.

Таблица 20.

Диам. в дюйм.	R мм	r мм	T мм	Диам. в дюйм.	R мм	r мм	T мм
$\frac{1}{8}$	1,15	0,4	2,4	$1\frac{1}{8}$	7,2	3,6	14,3
$\frac{1}{4}$	1,6	0,8	3,2	$1\frac{1}{4}$	8,0	4,0	16,0
$\frac{3}{8}$	2,4	1,2	4,8	$1\frac{3}{8}$	8,8	4,4	17,5
$\frac{1}{2}$	3,2	1,6	6,4	$1\frac{1}{2}$	9,5	4,8	19,0
$\frac{5}{8}$	4,0	2,0	8,0	$1\frac{5}{8}$	10,3	5,2	20,6
$\frac{3}{4}$	4,8	2,4	9,5	$1\frac{3}{4}$	11,2	5,6	22,2
$\frac{7}{8}$	5,6	2,8	11,2	$1\frac{7}{8}$	8,2	6,0	16,2
1	6,4	3,2	2	2	8,7	6,4	17,4

Плашки.

Кроме метчиков, служащих для нарезания резьбы в отверстиях (в гайках), приготовление винтовых резьб выполняется и другими инструментами. К числу винторезных инструментов относятся плашки, когда речь идет о нарезании стержней и различного вида гребенки, удовлетворяющие изготовлению как наружных (болтов), так и внутренних нарезок (гаек).



Фиг. 214.

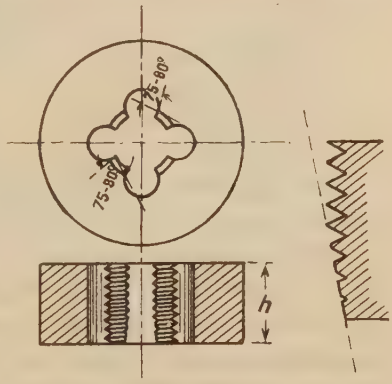
Плашки по своему назначению разделяются на четыре группы:

1) Комбинированные или прогонные (маточные), служащие для окончательной отделки уже готовой нарезанной резцом резьбы: они делаются из цельного куска и глубина нарезки у них на всех витках одинаковая, т. е. эти плашки имеют цилиндриче-

скую форму резьбы и при использовании работают как бы одним первым витком, а все следующие за ним как бы заглаживают поверхность, прорезанную предшествующим (фиг. 244).

Комбинированные и прогонные плашки употребляются в винторезных досках, в клуппах и главным образом в особых державках для работы на станках. Режущие грани у них получаются aa_1 и bb_1 путем прорезания канавок таким образом, что угол резания выходит в 90° и плашка представляется двухсторонней. Ввиду того, что они служат только для калибровки резьбы, лучше делать хотя бы и неглубокие канавки, но в значительном количестве, однако так, чтобы еще сохранялось хорошее направление для резьбы.

2) Проходные плашки служат для нарезания болтов, винтов за один проход. Эти плашки делаются также из одного куска и так как углубить лезвие сразу на всю величину выступа без риска испортить болт или поломать плашку невозможно, то часть витков у них срезана и, постепенно удлиняясь по высоте выступа, переходит в цилиндрическую часть (фиг. 245).



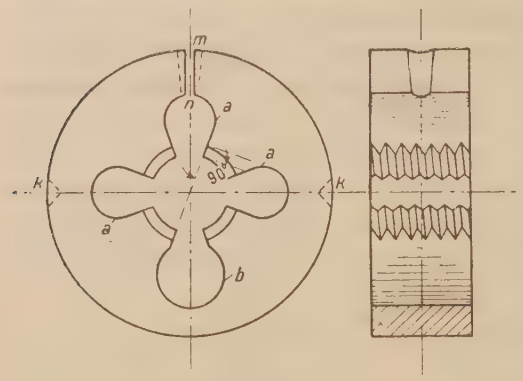
Фиг. 245.

Общая длина h резьбы у таких плашек делается в $1\frac{1}{2}$ — 2 диаметра d и на длине 0,75 - 1 d_n сохраняется полная резьба, а остальная часть срезается на конус так, что последний виток срезается почти полностью: он и служит начальным для нарезания.

Чтобы облегчить работу такой плашкой, угол резания у нее стремятся приближать к наивыгоднейшему и практически делают его равным 75—85°. Число прорезов для образований лезвий, в зависимости от размера плашки, от 3 и более. Их выполняют в виде круглых канавок с центром, расположенным близко к внешнему диаметру резьбы. Так как эти плашки срезают большое количество металла, то глубина канавок должна быть значительной, чтобы вмещать отходящую стружку и не засоряться ею.

Такие плашки благодаря большой нагрузке работают тяжело и употребляются для нарезания сравнительно мелких нарезок. Поверхность ниток из-под них выходит матовая, не гладкая и в редких случаях пригодная для ответственных частей.

3) Выверяющиеся плашки служат главным образом для нарезания резьбы клуппами, но применяются также и на станках. Круглый корпус плашки, выточенный из куска инструментальной стали, имеет четыре глубоких канавки.

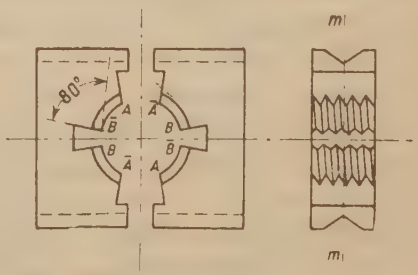


Фиг. 246.

Через одну из них делается узкий прорез *mn* и в середине его, по цилиндрической поверхности, развертывается коническое отверстие для конического штифа (фиг. 246).

Противоположная канавка *b* делается несколько большего размера, создавая таким образом пружинение. Плашка вставляется в соответствующую выточку клуппа, прицепляется упорными болтами в углублениях $k_1 k$ и удерживается от провертывания, а болт, проходящий через обойму клуппа и имеющий конический хвост, входит в отверстие прореза *mn* и может по мере надобности его разводить и суживать. Угол резания у этих плашек делается приблизительно в 90°, а глубина канавок вполне достаточная для вмещения стружки.

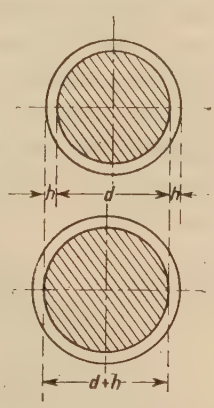
4) Составные или разъемные плашки употребляются для работы клуппом вручную: они изготовляются из двух половинок, и по мере нарезания резьбы эти половинки сближаются между собой (фиг. 247).



Фиг. 247.

Так как они снимают стружку в значительном количестве, то вырезы их должны быть большой вместимости, а длина нарезанной части для хорошего направления — довольно широкой. Угол резания берется от 75° до 85°. Угловыми прорезами *mn* половинки плашки вставляются в направляющие щеки клуппа и упорным винтом в одну половинку их постепенно сближают. Число прорезов для образования лезвий берут обыкновенно четыре и так как плашка двух-

сторонняя, то получается восемь граней — 4 внешних и 4 внутренних. В каждом случае например при работе направо, режущими оказываются 2 внешних и 2 внутренних, т. е. A_1A и B_1B. Благодаря тому, что составные плашки работают постепенным сближением, у них в работе сначала оказываются только наружные лезвия, а затем — только внутренние. Таким образом работа распределяется поровну: сначала на лезвия A_1A, а затем на лезвия B_1B. Чтобы удовлетворить такому равномерному распределению работы на лезвие, размеры диаметров, несущие их, у этих плашек должны быть рассчитаны соответствующим образом (фиг. 248).



Фиг. 248.

Внутренний диаметр метчика, нарезающий плашку, должен равняться внутреннему диаметру болта, нарезаемого плашкой, увеличенному на глубину резьбы, т. е. внутренний диаметр резьбы должен быть:

$$D_b = d + h.$$

Наружный диаметр метчика, изготовляющего плашку, получается, если к его внутреннему диаметру прибавить $2h$ нарезаемого болта, т. е. наружный диаметр плашки будет:

$$D_n = d + h + 2h = D_i + 2h.$$

Чтобы проверить соображения о выборе размеров плашки, рассмотрим ее работу. В начале нарезания резьбы, ввиду того, что наружный диаметр болта D больше внутреннего диаметра плашки D_b, к его поверхности будут прикасаться только одни наружные, режущие ребра AA, а между болтом и внутренними кромками получится зазор (фиг. 249).

По мере нарезания резьбы диаметр болта уменьшается благодаря сближению половинок плашки: зазор между внутренними лезвиями плашки уменьшается, т. е. диаметр, по которому происходит резание, приближается к внутреннему диаметру окружности плашек.

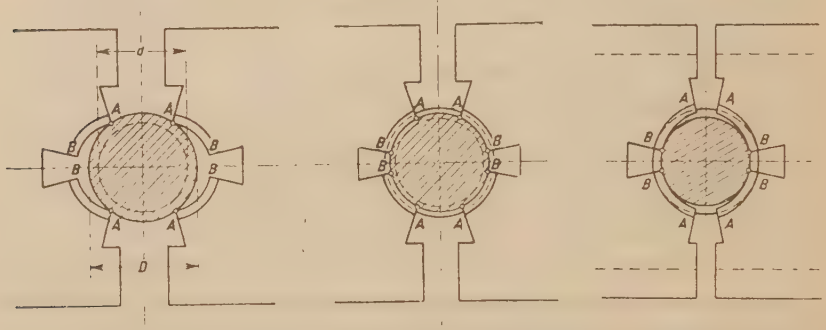
Когда резьба будет прорезана до половины, обе эти окружности совпадут, так как их диаметры в этот момент равны между собой, а именно:

$$d + h = D_b.$$

В этом положении работают и внешние и внутренние лезвия плашки (фиг. 250).

В следующий за сим момент, при дальнейшем сближении плашек, внутренний диаметр их $d + h = D_b$ остается прежним, а диаметр окружности, по которой происходит соприкосновение лезвий с нарезаемым болтом, уменьшается, в силу чего режущими будут только внутренние лезвия $B - B$ (фиг. 251).

Чем дальше будет продолжаться резание, тем больше будет уменьшаться диаметр окружности резания и тем больше будет разница между этими окружностями. До конца резания наружные лезвия участия в резании принимать не будут. Когда резьба будет



Фиг. 249. Фиг. 250. Фиг. 251.

углублена на болте на полную величину h, тогда плашка примет положение, при котором диаметр расположения внутренних режущих граней равен диаметру d нарезаемого болта.

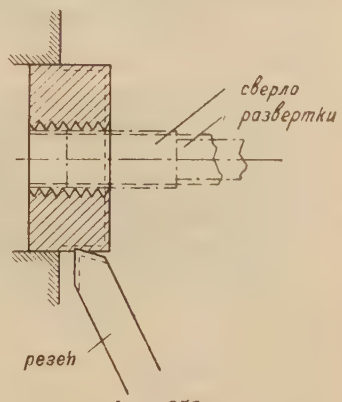
Следовательно, если плашка нарезана таким метчиком, внутренний диаметр которого равен внутреннему диаметру плюс глубина резьбы нарезаемого болта, то при работе его половина глубины болта будет нарезана внешними лезвиями, а вторая — внутренними.

Такие плашки очень редко употребляются для нарезания точных болтов, — они всегда дают недостаточно чистую резьбу и в виду того, что изготовляются при помощи метчика, они не могут обеспечить большой точности винтовой резьбы.

Изготовление плашек.

Цельные круглые и самовыверяющиеся плашки изготовляются из инструментальной и быстрорежущей стали в зависимости от их размера, либо прямо из штанги, либо из специальных, хорошо про-

кованных и отожженных круглых плиток. Как и при изготовлении фрез, кусок круглой заготовки диаметром в $3 \div 3\frac{1}{2}$ раза большим, чем наружный размер резьбы, зажимается в американский патрон и, проверенный по центру и по окружности, раньше всего высверливается спиральным сверлом под внутренний диаметр резьбы, развертывается калиброванной разверткой и протачивается снаружи и спереди по заданным размерам. Затем в случае, если плашка изготовляется для валовой массовой работы, она нарезается соответствующим коническим метчиком и начисто прогоняется маточным. В случае, когда плашка должна служить для приготовления точных, калиброванных резьб, она предварительно нагрубо нарезается обыкновенным резцом и доводится до точной меры по калибру специальною гребенкой (фиг. 252).



Фиг. 252.

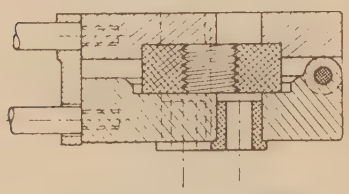
Для этой работы нужно пользоваться токарным станком с ходовым винтом и точно проверенным суппортом, станиною и центрами.

Проходным резцом с суппорта протачивают плашку по боковой и торцевой поверхностям, а затем из задней бабки ручной подачей просверливают дыру, развертывают ее разверткой и нарезают метчиком. Если же резьбу нарезают резцом и гребенкою, то работу ведут иначе: раньше всего протачивают торец, сверлят приближенную дыру и проходят ее разверткой. Затем поворачивают заготовку — протачивают передний торец и нарезают резьбу последовательным снятием винтовой стружки помощью резца и окончательно доводят гребенкой. Само собой понятно, что при массовой фабрикации плашек на рынок, порядок и приемы изготовления их будут совершенно иными: применяются станки специального назначения и работа значительно ускоряется и упрощается целым рядом особых приспособлений и инструментов.

После этого заготовку насаживают на комбинированную гладкую или винтовую оправку и протачивают до точной меры цилиндрическую поверхность, проверивши попутно еще раз торцем, если это потребуется. Вслед за этим подрезают на конус несколько первых ниток резьбы и делают канавки для выхода стружки и образования лезвий.

Эту последнюю работу выполняют на сверлильном станке, ввернув в нарезку заготовки железную или медную пробку, и, разметив ее, высверливают нужное число дыр как по целому материалу. При массовой фабрикации больших количеств одинаковых плашек сверление производится при помощи сверлильного кондуктора (фиг. 253), где дыры фиксированы закаленными стальными втулками, служащими направлением для сверла.

Полученную таким образом плашку, если нужно, разрезают для пружинения, засверливают на боковой поверхности упорные углубления и высверливают через разрез коническую дыру для разводки и после этого окончательно запиливают режущие грани по данным чертежа для получения угла резания. Закалка плашек ведется почти всегда в муфельной печи; плашки углеродистой стали нагревают в пределах 750°—800° С и, смотря по назначению, отпускают в масле при температуре 180°—240°, регулируя твердость по цветам побежалости. После закалки и отпуска плашку чистят и иногда шлифуют цилиндрическую поверхность и торцевые плоскости. Из практики производства плашек мы рекомендуем производить разрезку плашек после закалки, употребляя тоненький шлифовальный кружок — этим плашка уберегается от коробления и поводки при калке.



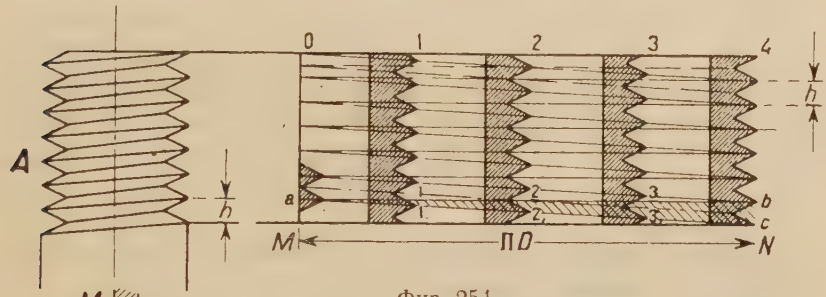
Фиг. 253.

Если этого почему-либо сделать нельзя, то тогда перед закалкою в вырез плашки вставляется точно пригнанный кусочек стали (закладка), плашка крепко стягивается скобами, и лишь после окончательной закалки ее распускают; этот прием все же лучше, ибо разрезанные и в таком же виде закаленные плашки почти всегда оказываются покоробленными и потому рвущими резьбу.

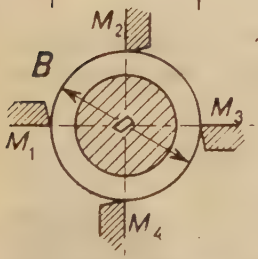
Составные или разъемные плашки изготовляют из полосовой стали; раньше всего полосу фрезеруют с двух сторон по плоскостям будущих торцевых поверхностей, затем по узким сторонам полосы соответствующею фасонною фрезой делается направляющий паз и наконец разрезают на части. Последнее делается так, что кусок представляет собой обе половинки вместе или же кусок представляет только одну половинку; в первом случае их перед закалкою делят пополам и сколько нужно срезают фрезой, а во втором случае их соединяют попарно в специальном кондукторе, раздвигают на некоторую величину и, вставив закладку, свер-

лят дыру под резьбу. Метчиком, окончательные размеры которого подобраны, как указывалось раньше, нарезают резьбу и запиливают первую нитку на конус. Затем в каждой половинке делают канавки для лезвий и выхода стружки, производя работу напильником на долбежном или фрезерном станках, и, сняв оставшиеся заусеницы, подвергают закалке в том же порядке, как и для круглых плашек.

В так называемых американских клуппах, служащих для нарезки резьб большого диаметра, нарезательные плашки делают не из двух частей, а из четырех. Обыкновенно отдельные звенья ее собирают в особую оправку в виде обоймы и, расточив по внутреннему диа-



Фиг. 254.



метру нарезаемых болтов, резьбу на них нарезают метчиками. Такой способ нарезки плашек не приводит к правильной работе их и всегда в бо́льшей или меньшей мере извращает нарезаемую резьбу. Если например американский клупп состоит из 4 отдельных лезвий — M_1, M_2, M_3 и M_4 (фиг. 254), то закон образования их получится следующим образом:

Стержень A диаметра D нарезается американским клуппом B в 4 плашки, расположенные под углом 90° друг к другу — нарезка на плашках имеет шаг h.

Если поверхность нарезанного болта развернуть на плоскость, то MN будет равно πD, а расстояния $0-1=1-2=2-3=3-4$ будут равным $\frac{1}{4}\pi D$. Разделив отрезок LM на части, равные величине подъема винтовой линии, и проведя через эти деления линии параллельные MN, мы можем представить себе схему образования каждой нитки рассматриваемого болта A так, что профиль резьбы, находящийся в точке a, движется по линии ac, представляющей направление винтовой линии, развернутой на плоскость. Одноимен-

ные точки профиля резьбы плашек M_1, M_2, M_3 и M_4, расположенные в положениях 1, 2, 3, 4, окажутся при этом смещенными друг относительно друга и будут лежать на линии ac.

Величины смещения их найдутся из подобия тр-ков abc, $a11_1$, $a22_1$, $a33_1$, следующим образом:

$$\frac{ab}{a1} = \frac{bc}{11_1}$$

или

$$\frac{\pi D}{\frac{1}{4}\pi D} = \frac{h}{11_1},$$

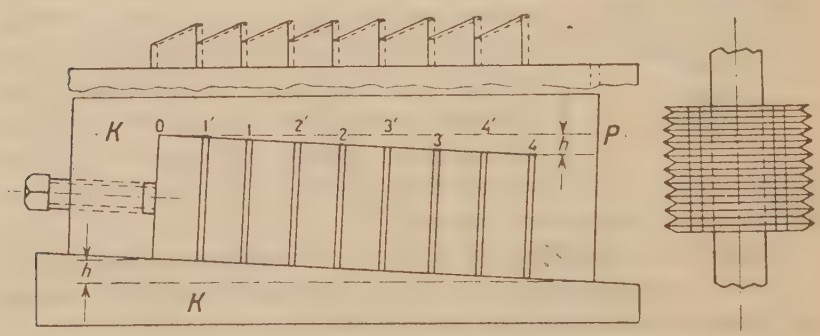
$$11_1 = \frac{1}{4}h,$$

$$22_1 = \frac{1}{2}h,$$

$$33_1 = \frac{3}{4}h,$$

т. е. профиль плашки M_4 смещен в отношении к положению профиля M_1 на величину h подъема винта.

Приспособление, служащее для нарезания плашек американских клуппов, представляет собой зажим k (фиг. 255), в которой вста-



Фиг. 255.

влены заранее приготовленные плашки 1', 1, 2', 2, 3', 3 . . . так, что последняя 4 смещена по отношению к 1 на величину шага h; если фрезой Q, на которой нарезаны параллельные профили mm, прорезать установленные таким образом плашки, то смещением каждой из них до положения op получим правильное положение винтовых канавок, причем лезвия, получающиеся в 1, 2, 3, 4, с одной стороны, и лезвия 1', 2', 3', 4' — с другой, дадут соответствующие

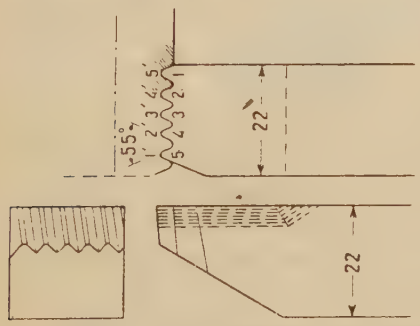
комплекты по четыре плашки в каждом для рассматриваемой резьбы. Закалка подобного рода плашек производится так же, как и в обычных разъемных.

Затачиваются они параллельными плоскостями и представляют собой переход к новой группе инструментов — к гребенкам.

Гребенки.

Обыкновенные винторезные резцы и отдельные зубцы, как указывалось при их описании, нарезают резьбу, перемещаясь по всей длине нарезной части и постепенно углубляясь в материал, образуют требуемую резьбу.

Однако при значительной толщине стружки резец испытывает усилия, изгибающие его конец и изменяющие профиль резьбы. Благодаря неизбежному износу резца профиль его так же меняется и в свою очередь так же влияет на правильность резьбы. Таким образом получить одиночным резцом точную и правильную резьбу крайне трудно, и достигается она лишь благодаря большому опыту токаря, нарезающего винты снятием тончайших стружек, то есть весьма медленной работой. Обеспечить быстрое выполнение нарезки и сообщить ей точные размеры можно лишь при условии устранения износа лезвия резца, уничтожением его дрожания и созданием для режущего профиля хорошего и надежного направления по винтовой канавке. Все это достигается в так называемых гребенках (фиг. 256), имеющих сразу несколько лезвий 1, 2, 3, 4.



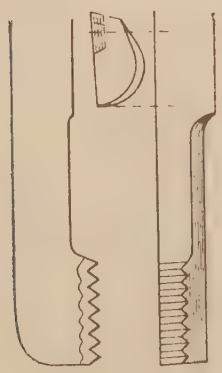
Фиг. 256.

Если гребенка имеет подачу в направлении оси болта по стрелке S, то при одном обороте его 1-й зуб гребенки прорежет одну нитку на величину шага, при следующем обороте болта тот же зуб прорежет следующую нитку, а рядом стоящий зуб ее зачистит предшествующую еще вырезанную канавку и т. д., т. е. здесь работает один только первый зуб, а каждый последующий лишь зачищает работу предыдущего, поэтому профиль резьбы получается чистый и хорошо комбинированный, и если первый зуб даже несколько подсядет, то сохранившиеся следующие выведут все неровности. При

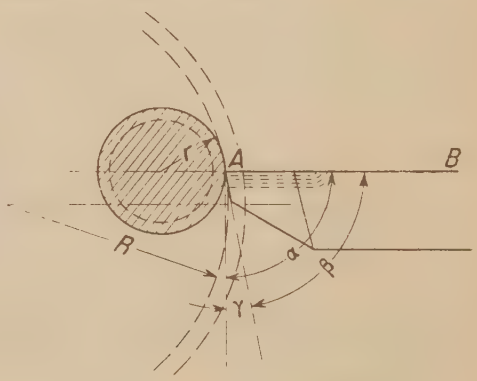
таких условиях гребенка по сравнению с резцом получается солиднее, меньше подвергается дрожанию, и в силу того, что зубцы следуют по канавкам уже проточенным предшествующим зубом, для режущих лезвий получается хорошее и надежное направление. По мере подработки и затупления гребенки ее затачивают по плоскостям параллельным начальному положению лезвия, как это видно из фиг. 256.

Для нарезания точных резьб в гайках делают такие же гребенки (фиг. 257), но режущие грани у них располагают сбоку и работают ими как крючками.

Для уменьшения трения гребенки обязательно снабжаются углом установа (задним), причем этот последний образуется дугой круга



Фиг. 257.



Фиг. 258.

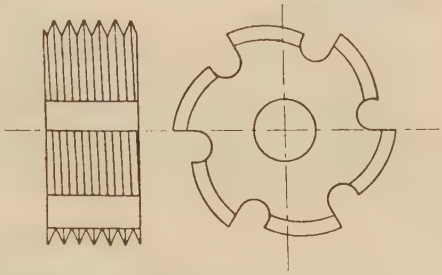
радиуса $R = (4 \div 5) \cdot r$, где r радиус нарезаемого болта. Такое построение обеспечивает гребенке постоянство профиля винтовой нарезки при заточке и шлифовании ее по плоскостям параллельным AB (фиг. 258).

Чтобы избежать бокового трения лезвий о впадины нарезаемых канавок, имеющих у болта направление винтовых линий, зубцы гребенки имеют спиральное направление с углом спирали, равной углу подъема винтовой линии, соответствующей профилю и числу нарезаемых ниток (фиг. 256). Устойчивость гребенки достигается выбором стали высокого качества и прямоугольным сечением с большой стороной, расположенной по высоте профиля.

Лучшим отношением ширины b гребенки к ее высоте h является:

$$\frac{b}{h} = \frac{1}{1{,}25}.$$

Для изготовления гребенок служат специальные фрезы (фиг. 259), носящие название переводников, мастер-метчиков: они представляют собой аксиальные фрезы, диаметр коих выбирается в зависимости от диаметра нарезаемой резьбы и числа ниток. Для нарезок свыше 1″ диаметр переводника берется 3 ÷ 5-кратный, для мелких резьб меньше 1″ диаметр переводника принимается в пределах от 5- до 10-кратного.



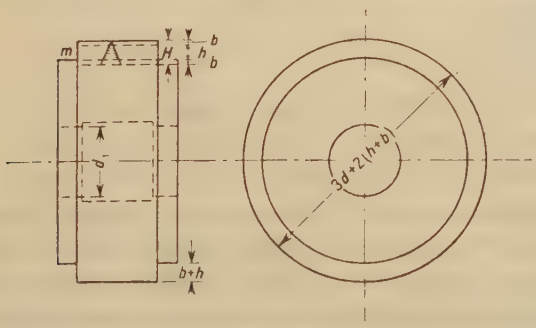
Фиг. 259.

Чтобы гребенкой получить совершенно точную резьбу, она должна быть нарезана переводником того же профиля, что и нарезаемая резьба. Но так как диаметр переводника больше диаметра нарезаемого болта, то, чтобы получить на нем тот же профиль, какой имеет болт, переводник должен иметь шаг во столько раз бо́льший, во сколько его диаметр больше диаметра болта, т. е.

$$\frac{h_n}{h_b} = \frac{D}{d}.$$

Получить при таких условиях один и тот же профиль на переводнике и на болте можно лишь тогда, когда на переводнике будет нарезана резьба во столько ходов (концов), во сколько раз шаг переводника больше шага нарезаемого болта, т. е. число ходов на переводнике получается из:

$$h_n = \frac{D}{d}.$$



Фиг. 260.

Так как переводник совершенно ничем не отличается от фрезы, то приготовление его и порядок обработки протекает в той же последовательности. После того как переводник нагрубо обточен, рассверлен, точно разработано отверстие и когда боковые поверхности нарезаны в меру, наружную его обточку производят на оправке следующим образом (фиг. 260).

1) На расстоянии $1 \div 1\frac{1}{2}$ ниток от боковой грани с каждой стороны срезают выточку (поясок) так, чтобы окончательный размер диаметра был

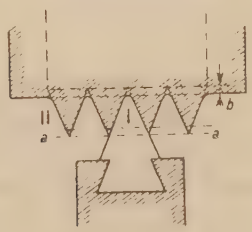
$$D - 2(h + b).$$

2) Наружный диаметр переводника обтачивается после этого совершенно точно и начисто так, чтобы размер его (например при 3-кратном отношении к диаметру болта) представлял собой

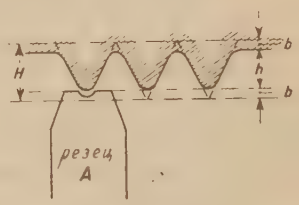
$$3d + 2(h + b),$$

где d — диаметр нарезаемого болта, h — глубина округленных профилей, b — величина скругления выступов или впадин и $H = h + 2b$ — теоретическая высота тр-ка, представляющего профиль нарезки.

Пояски по обеим сторонам заготовки переводника делаются с особенной тщательностью и точностью, ибо в дальнейшем они служат токарю исходной базой для размеров нарезаемой резьбы.



Фиг. 261.



Фиг. 262.

Установив резец типа фиг. 74 точно по размеру пояска, т. е. так, чтобы между верхней точкой его закругления и цилиндрической поверхностью пояска не было никакого зазора, и, поставивши суппорт в таком положении на упор, отводят резец в крайнее положение aa, — затем, пустив станок, начинают нарезать резьбу по общим правилам, снимая за каждый проход стружку толщиной $0{,}015 \div 0{,}025$ *мм*. Последние стружки берут еще тоньше, все время обильно смачивая резец и обрабатываемую поверхность репейным или льняным маслом (фиг. 261).

Когда резец дойдет до упора, то, отведя его в сторону и давши ему несколько минут охладиться, нужно снова проконтролировать глубину нарезки: если резец в положении I и при переводе его в II не показывает никакого зазора, то резьба углублена правильно.

Раньше, чем приступить к закруглению вершин выступов резьбы, последнюю сошлифовывают наждачным кружком или срезают резцом на величину *b* и затем, установив специальный резец *A* (фиг. 262), им очень осторожно подрезают выступ резьбы до упора суппорта.

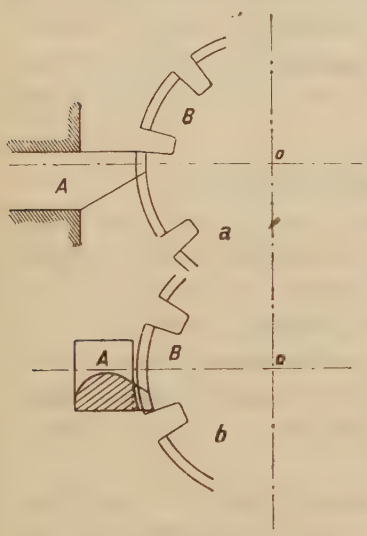
Прорезав канавки как у фрезы, закалив и отпустив немного переводник, его оставляют на несколько дней вылежаться, чтобы уравновесилось напряжение, — после чего он уже годен в работу.

Нарезка гребенок производится на токарно-винторезном станке помощью переводника.

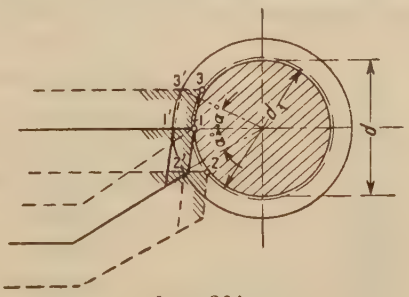
Изготовление гребенок.

Хорошо простругавши или профрезеровавши верхнюю и нижнюю плоскости гребенки *A* (фиг. 263, *a*, *b*), ее устанавливают как обыкновенный резец на суппорте несколько выше центра.

Переводник, насаженный на оправку в шпиндель передней бабки, получает рабочее вращательное движение, а гребенка при посредстве наборных шестерен от ходового



Фиг. 263.



Фиг. 264.

винта получает перемещение за каждый оборот станка на величину шага нарезаемой резьбы, вследствие чего переводник переводит на ее режущие грани соответствующие профили.

Поперечная подача гребенке сообщается вручную каждый раз по проходе переводником всей длины нарезаемой части гребенки. Подачу не следует делать более 0,015 *мм*, если хотят получить точную гребенку и при этом сберечь переводник от преждевременного износа. Хорошим переводником при умелой работе можно нарезать очень большое количество гребенок, совершенно тождественных между собой.

При нарезании резьбы помощью гребенки очень важно для соблюдения точных размеров и сохранения профиля нарезки устанавливать ее совершенно горизонтально (фиг. 264).

Если установить гребенку так, что режущая грань ее будет совпадать с центром нарезаемого болта, то она точно прорежет винтовые канавки (положение 1), переведя на болт точный профиль своих лезвий, — при этом гребенка, имея угол резания равный 90°, не будет ни пружинить ни заедать.

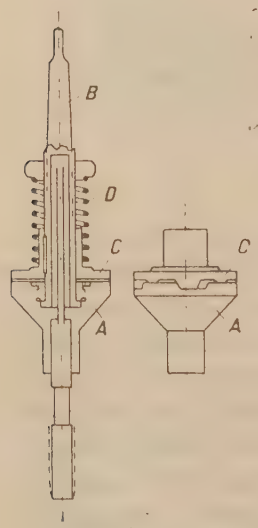
Если гребенку установить в положениях 2 или 3, то полученный профиль будет отличаться от профиля самой гребенки: глубина резьбы будет мельче глубины ее гребенки, ибо $d_1 > d$.

В положении 2 гребенка будет пружинить, если она выдвинута из суппорта на значительную длину; в положении 3 при тех же условиях она будет заедать. Чтобы избежать и того и другого, гребенку нужно ставить обязательно в центре, тогда она обеспечивает точный профиль резьбы и не имеет недостатков заедания или пружинения.

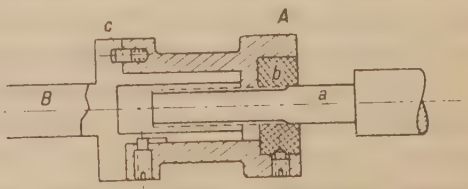
Приспособления для нарезки резьбы.

При нарезании резьбы в несквозных отверстиях нужно обращать внимание на то, чтобы метчик не уперся в дно — в противном случае возможна его поломка. Чтобы избежать поломки метчиков для работы на сверлильных и револьверных станках, употребляют предохранительные приспособления (аппараты) для метчиков (фиг. 265) и плашек (фиг. 266).

Втулка C связана с частью B при помощи шпонки и с другой стороны пружиною D прижата к муфте A, с которой она связана косыми, пологими прорезами.



Фиг. 265.



Фиг. 266.

При вращении B и C захватывается и муфта A. Когда метчик упрется в дно нарезаемого канала, муфта A начинает проскальзы-

вать и не допускает метчик до поломки. По мере надобности пружину *D* можно натягивать или ослаблять.

При нарезании резьбы плашкою на револьверном станке в приборе (фиг. 266) втулка *A* начинает в момент упора болта *a* в плашку *b* подаваться независимо от втулки *B*, в силу чего упорные штыри *c* выходят из зацепления с нею и втулка станет вращаться вместе с нарезаемым болтом *a*.

Таким образом резьба предохраняется от порчи, а плашка от поломки.

ГЛАВА IV.

ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ СВЕРЛЕНИЯ.

При необходимости выполнить круглое отверстие в сплошной массе металла задача эта разрешается тем, что находящийся в месте проделываемого отверстия материал удаляется расщеплением его в стружку специально сконструированными режущими инструментами — сверлами. Сверло при этом совершает вокруг своей оси вращательное рабочее движение и вспомогательное прямолинейное перемещение в направлении оси вращения. Вследствие вращения вокруг своей оси оно должно быть снабжено двумя режущими лезвиями, пересекающимися в середине сверла и расположенными либо перпендикулярно оси, либо образующими с нею некоторый угол, соответствующий в среднем 110°—120°. Следовательно сверло можно рассматривать как комбинацию одновременно работающих двух резцов.

По конструкции своей сверла разделяются на: 1) плоские или перовые и 2) цилиндрические.

По характеру образования режущих граней — на: 1) сверла с прямыми лезвиями и 2) сверла со спиральными лезвиями.

По способу работы они разделяются на: 1) односторонние и 2) двухсторонние.

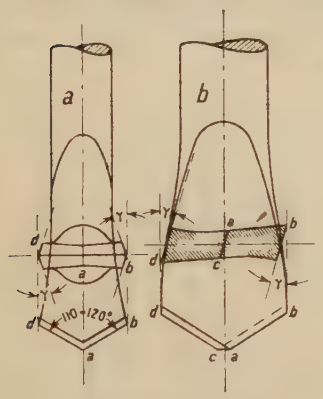
Сверло служит для высверливания дыры в целом материале, увеличение же размера диаметра уже готовой дыры производится либо расточными резцами, либо особого рода инструментом, называемым развертками или райберами. При сверлении дыр в целом сверло принудительно направляется по оси своего вращения, поэтому как оно само, так и просверливаемое изделие должны быть прочно закрепленными; наоборот при расширении уже готовой дыры необходимо, чтобы инструмент направлялся по готовому каналу, поэтому здесь развертка не должна быть неподвижно закрепленной: ее лишь подпирают в одной точке на оси вращения и она, будучи направляема каналом, всегда будет расширять (развертывать) его правильно.

Перки.

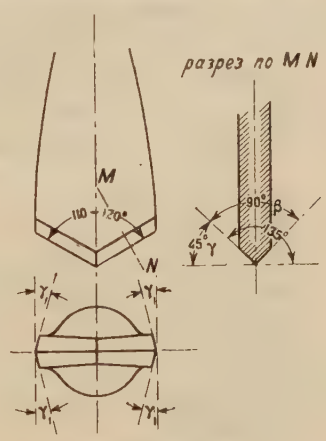
Перки представляют собой сверла, у которых лезвия расположены симметрично друг к другу только на торце либо под углом к оси вращения, либо перпендикулярно к ней.

Приготовляются перки из плоского материала за точкою конца на соответствующие грани или же из круглого материала расплющиванием его нижнего конца в лопатку и заделыванием режущих граней по определенному закону под углом или перпендикулярно к оси вращения (фиг. 267).

Перка типа *a* носит название двухсторонней, потому что она может работать в обе стороны, так как режущие ребра ее обра-



Фиг. 267.



Фиг. 268.

зуются срезыванием граней под углом 55°—60° к оси вращения, а затем запиливаются с каждой стороны к плоскости симметрии под углом в 45°, так что угол резания у нее получается:

$$\alpha^\circ = \beta^\circ + \gamma^\circ = 90^\circ + 45^\circ = 135^\circ.$$

Чтобы при углублении в металл перка не терлась своими боками, у нее делаются еще боковые углы установа $\gamma_1^\circ = 3^\circ \div 7^\circ$ (фиг. 268).

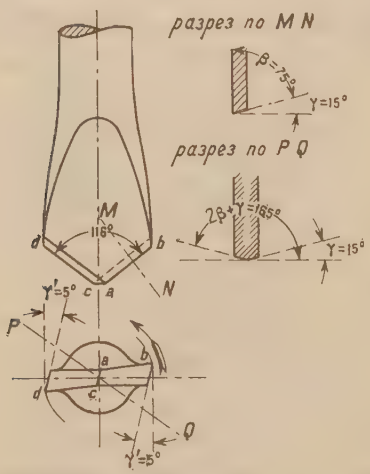
В виду того, что у этой перки угол резания по обе стороны всегда больше 90° и в частности равен 135°, она работает чрезвычайно тяжело, снимая или, как шабер, соскабливая материал. Такое сверло всегда имеет плохое направление в дыре и потому точного диаметра выдержать им совершенно невозможно. Употре-

бление находят двухсторонние перки редко, например для ручной работы дрелью и чаще всего при помощи трещотки.

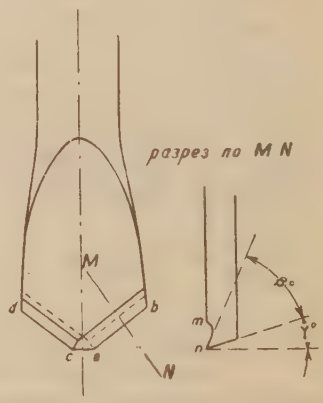
Односторонняя перка (фиг. 269) снабжена двумя режущими ребрами *ab* и *cd*, работающими только в одном направлении. Оба ребра наклонены к оси вращения под углом $55° \div 60°$ и спилены для получения заднего угла γ плоскостью под углом $\gamma = 12° \div 15°$. Режущие ребра *ab* и *cd* (фиг. 269) образуют при этом угол резания (разрез *MN*):

$$\alpha° = \beta° + \gamma° = 75° + 15° = 90°.$$

Так как задние грани лезвий наклонены в разные стороны, то в своем пересечении в середине сверла они образуют еще третье ребро *ac*, которое при работе сверла по всей своей длине



Фиг. 269.



Фиг. 270.

дает угол резания равный 165° (разрез *PQ*).

Этот угол составляет большой недостаток перки, ибо ребро *ac* на всей своей длине работает как шабер, скобля и сжимая материал. В силу этого такая перка работает тяжело и быстро затупляется.

Некоторого улучшения можно достигнуть уменьшением длины ребра *ac*, для чего толщину лопатки делают в среднем меньше чем у краев — однако при этом все сверло становится значительно слабее и легче изнашивается.

Дальнейшее улучшение работы перок достигается, вообще говоря, уменьшением угла резания (фиг. 270).

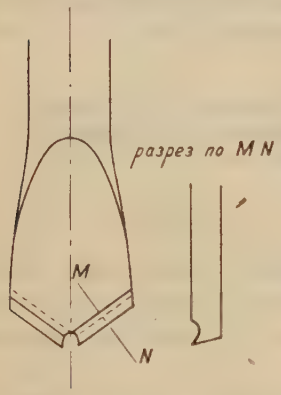
По всей длине передней грани каждого режущего ребра ab и cd делается канавка mn (разрез 1—1), образующая угол резания

$$\alpha^\circ = \beta^\circ + \gamma^\circ = 65^\circ + 15^\circ = 80^\circ.$$

Этот угол значительно улучшает работу перки еще и благодаря тому, что канавки mn, сходясь в середине резца, значительно уменьшают величину тупого ребра ac.

Еще более простым путем улучшить работу сверла можно при помощи пропиливания канавок st, сокращающих длину ребра ac и тем в заметной степени уменьшающих трение его при работе (фиг. 271).

Однако оба приведенных выше способа, улучшая и облегчая работу перки, делают ее несколько слабее, а именно: в первом случае ослабляя лезвие, во втором ослабляя перку в средней ее части. Как и у двухсторонней перки здесь направление по



Фиг. 271.

Фиг. 272.

дыре недостаточно велико, а поэтому не может служить инструментом для получения правильной и чистой дыры, — после нее для образования хорошего круглого сечения отверстия его нужно пройти еще цилиндрическою разверткою или райбером.

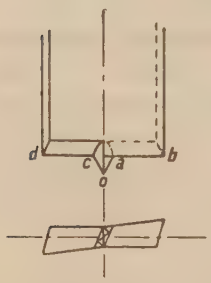
Чтобы перка при работе не терла своими боками, боковые углы ее снимаются плоскостями под углом $\gamma_1 = 3^\circ - 7^\circ$.

Затачивание перок ведут на шлифовальном станке, срезая задние грани параллельными плоскостями, — здесь обнаруживаются недостатки канавок на передней грани: они при заточке перки быстро срезаются и для угла резания дают уже новое значение. Когда после $2 \div 3$ заточек канавка будет срезана на половину своей ширины, то угол резания такой перки становится уже более прямой и она работать совершенно не может (фиг. 272).

Такую перку нужно отжигать и запиливать канавки снова, при этом теряется большое количество материала и возникает необходимость вторичной закалки.

Кроме основных недостатков перки, работающей тяжело благодаря ребру *ac*, скоблящему металл, кроме недостатков плохого ее направления, не дающего возможности получить правильную и чистую дыру, односторонняя перка требует еще предварительного изготовления значительного направляющего центра, без которого начать сверление крайне трудно.

Если режущие ребра *ab* и *cd* расположить перпендикулярно оси вращения и задние грани спилить так, чтобы в середине образовался выступ, то, запилив последний в виде прямой пирамиды с вершиной *O* на оси вращения и с прямоугольником в основании, мы получим так называемую центровую перку (фиг. 273).



Фиг. 273.

Фиг. 274.

Такая перка лучше начинает сверление, значительно лучше направляется в дыре, работает в общем также тяжело и широкого распространения не получила, особенно там, где требуется точность работы.

Из материала специального крестообразного профиля фирма Selfor Tool Company — New-York делает перки, в значительной степени лишенные указанных недостатков (фиг. 274), но у нее по всей длине лезвия угол резания получается переменным, отчего износ их неравномерен.

Пушечные сверла.

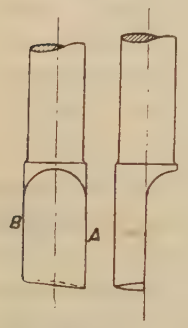
Обыкновенные перки работают медленно, но делают дыру всегда большего диаметра, чем само сверло, и даже при самых малых подачах образующееся отверстие имеет нечистую, шероховатую поверхность. При работе перкой режущих ребер всегда бывает два, поэтому на долю каждого выпадает лишь половина общей работы сверления.

В промежутке между сверлами, работающими двумя лезвиями и развертками, имеющими большое их число, лежат так называе-

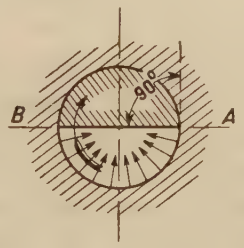
мые пушечные сверла, получившие свое название от того, что они употребляются для расточки орудийных каналов Эти сверла представляют собой правильный цилиндр, у которого нижняя часть на некоторой длине срезана по диаметральной плоскости, образующей в ребре пересечения с цилиндрической поверхностью режущее лезвие (фиг. 275).

Нижняя поверхность срезана под некоторым углом к оси вращения, образуя для торцевого лезвия угол установа.

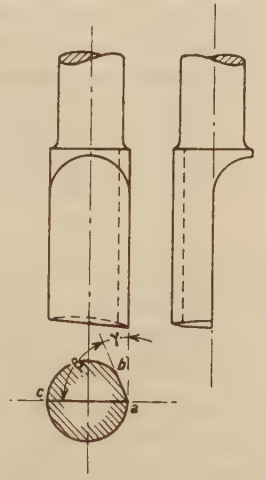
Такое сверло работает всегда только одним ребром, либо *A* при вращении слева направо, либо ребром *B* при вращении справа налево, а оставшаяся невырезанною часть сверла все время испытывает радиальные давления со стороны стенок канала, постоянно направляющие его к центру (фиг. 276).



Фиг. 275.



Фиг. 276.



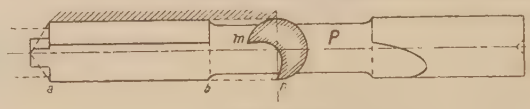
Фиг. 277.

Благодаря этому сверло, имея большую направляющую поверхность, дает чрезвычайно чистую и правильную дыру. Так как при этой конструкции боковое лезвие не имеет угла установа (заднего), то угол резания получается равным углу самой заточки и составляет 90°, значит работает стружкою скалывания и в достаточной степени тяжело. Выход для стружки довольно трудный и потому во время работы его часто приходится вынимать для прочистки дыры; для облегчения работы всегда употребляется обильная смазка и охлаждение. Употребляется пушечное сверло главным образом для расточки (рассверловки) готовых дыр и в целом материале может работать лишь после того, как часть дыры для направления уже сделана другим сверлом.

В целях облегчения работы пушечного сверла его конструкцию несколько изменяют тем, что режущее ребро снабжается задним

углом γ (фиг. 277). Для этого по цилиндрической поверхности делается плоская фаска ab, и направляющая поверхность ограничивается лишь дугою bc.

Такое изменение имело бы значительный смысл лишь только тогда, когда дуга bc была бы сильно укорочена, но тогда с уменьшением трения резко ухудшилось бы направление сверла, и все то, что составляет громадное преимущество пушечного сверла, сразу бы потеряло свое значение. Срез ab дает небольшое уменьшение трения, несколько облегчает работу сверла, но в такой же степени ухудшает качество работы и, делая его способным работать лишь в одну сторону, тем самым дает основание заключить, что в окончательном результате оно не является улучшением и потому нет особой нужды прибегать к такому изменению.



Фиг. 278.

Благодаря тому, что пушечное сверло ослаблено срезом по диаметральной плоскости, оно для глубоких сверлений не годится в таком виде. Готовые дыры, требующие рассверловки на больший диаметр, разрабатываются особыми сверлами (фиг. 278), у которых по длинной цилиндрической части ab делается глубокая канавка mn несколько более чем на дуге 90°. Помощью канавки получаются два режущих ребра m и n и при отличном направлении по дуге mpn образуется хороший выход для стружки и охлаждения.

Рассмотренное сверло, а также и обычное пушечное сверло, будучи двухсторонним, работает каждый раз только одним лезвием и в этом лежит их отличие от собственно сверл, которые всегда работают двумя лезвиями. В сверлах для глубоких сверлений иногда по всей длине делается еще канальчик O для подвода смазки и охлаждения, но при работе без давления они быстро засоряются и не оправдывают своего назначения.

Спиральные сверла.

Для сверления дыр в сплошном материале в настоящее время употребляют почти исключительно спиральные сверла. Они имеют всегда два режущих ребра, наклоненных к оси вращения под

углом в 58°—60°, образуя следовательно между собой угол 116°—120°.

По длине цилиндрической части сверла делаются две спиральные канавки, образующие прекрасный выход для стружки и охлаждающей жидкости.

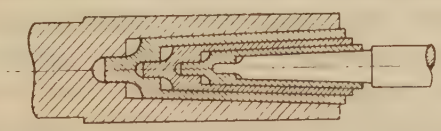
Благодаря спиральному расположению канавок направление у сверла получается весьма надежным, в силу этого спиральные сверла обладают способностью самоцентрироваться (фиг. 279).

Специальные сверла изготовляются фрезерованием из цельного прутка, выковыванием в особых матрицах или наконец завиванием из прямоугольной полосы быстрорежущей стали в горячем состоянии.

Для закрепления в шпиндель спиральные сверла имеют верхушку, заточенную по цилиндру (сверла с цилиндрической верхушкой) под сверлильный патрон или заточенную на конус (сверла с конической верхушкой), входящую прямо в коническую расточку шпинделя. Стандартные конуса — см. таблицу 16.

Фиг. 279.

Если сверло с малым конусом нужно вставить в шпиндель с большим отверстием, то для закрепления сверла употребляются так называемые переходные конические втулки (фиг. 280). Для выколачивания таких оправок из шпинделя в нем делается дыра, куда вставляется соответствующий клин, — подобные же отверстия иногда делают и в самых конусовых оправках, они служат для выбивания сверл.

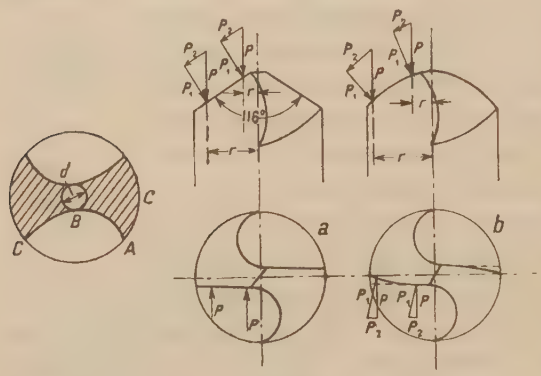

Фиг. 280.

Спиральное сверло в настоящее время является чрезвычайно ходовым инструментом во всякой механической мастерской, — оно, за исключением очень немногих специальных сверл, ныне вытеснило все другие виды их. Причина этому заключается в том, что спиральные сверла обладают очень большой производительностью и высоким качеством работы. Преимущество их состоит также в том, что при затуплении режущих кромок они до полного

своего износа исправляются только путем шлифования и заточки и никогда не требуют ни перековки, ни перекалки: необходима лишь правильная заточка, ибо от строения режущих кромок зависит не только производительность и качество работы, но и расход энергии на нее. Режущие лезвия сверла получаются в пересечении поверхностей канавок со спирально заточенною коническою поверхностью конца его; при этом профиль канавок должен быть выбран так, чтобы пересечение его с заточенною поверхностью конуса образовало по возможности прямолинейные лезвия (фиг. 281).

На чертеже (фиг. 281 a) как раз представлена по этому закону режущая часть сверла с прямолинейными лезвиями.

На другом чертеже (фиг. 281 b) наоборот представлена конструкция, отклоняющаяся от прямолинейности лезвий. Разлагая давление P в направлении перпендикулярном к лезвию и к оси вращения получаем, что давление на лезвие в этом случае для всех его точек будет различно. Благодаря такому расположению сил износ лезвий будет неравномерным, чем объясняется стремление к получению прямолинейных лезвий. Получающаяся в поперечном сечении сверла (фиг. 281 c) перемычка толщиною d по своему размеру определяется из условия прочности сверла на скручивание и достаточную жесткость. Эту перемычку, сколь позволяют соображения прочности, нужно делать по возможности малой, дабы создать необходимый свободный выход для стружки.



Фиг. 281.

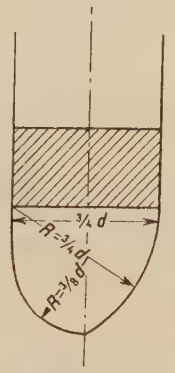
Форма линии в сечении от B до A определяется требованием получить в пересечении с конусом прямолинейное лезвие, форма же линии C до B определяется условиями необходимой толщины перемычки и достаточным выходом для стружки, вообще форма ее в значительной мере произвольна.

Подъем винтовой линии спирального сверла колеблется в пределах от 5-кратного до 8-кратного размера наружного диаметра сверла и в соответствии с этим величина угла подъема винтовой

линии, измеренная по наружному диаметру, будет около 24°—30°. Из данных практического использовании спиральных сверл наивыгоднейший угол конического заострения получится в пределах от 116 до 120°.

Для определения профиля фрезы, необходимой для нарезания спиральных канавок сверла, требуется, естественно, рассматривать его перпендикулярное к средней винтовой линии сечение. Под средней винтовой линией в данном случае нужно понимать именно ту винтовую линию профиля канавки, по которой двигается точка наибольшего диаметра профиля фрезы при фрезеровании сверла.

Форма фрезы со стороны образующей режущее лезвие канавки, выбирается на том основании, чтобы в пересечении поверхности канавки с конической поверхностью сверла лезвие образовало прямую линию. Теоретическое построение профиля фрезы сводится к тому, что, исходя из принятого прямолинейного режущего ребра, строят винтовые линии, имеющие для данной канавки одинаковые углы подъема, и приводят их к пересечению со средней винтовой линией сечения: это сечение и есть часть искомого профиля фрезы [1]). Для облегчения построения и удешевления изготовления шаблонов в практике профиль фрезы ограничивается дугами круга, очень близко подходящими к теоретическим кривым (фиг. 282).



Фиг. 282.

Получающиеся при такой фрезе отклонения режущего ребра от прямой линии едва уловимы и на точность работы и равномерность износа сверла не оказывают практически никакого влияния. Здесь уместно иметь в виду, что представленный профиль фрезы для канавки и подъем шестикратного диаметра изменяется, как только будет изменена величина подъема спирали.

С другой стороны, с изменением диаметра сверла изменяется также и величина профиля фрезы, поэтому собственно говоря для каждого размера сверла нужно иметь специальную канавочную фрезу; однако практика удовлетворяется относительно небольшим количеством фрез, разбивая сверла по ступеням на несколько групп.

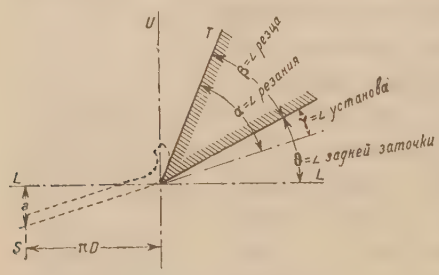
Спиральными канавками устанавливается только передняя грань режущих ребер сверла и создается возможность помощью шли-

---

[1]) Wallichs und Bartth. W. T. 1. X.

фовки заострения под определенным углом получить прямолинейное лезвие. Употребительнейший угол заострения для стали и чугуна 116°—120°, но как только сверло приходится затачивать под другим углом для работы на иных материалах, также лезвие не получается прямолинейным, и если эти отклонения выходят большими, то спиральное сверло работает неудовлетворительно.

Форма поверхности заточки (шлифования), будучи вообще произвольной, ограничивается однако тем требованием, чтобы режущее ребро было прямолинейным, но так как передняя грань его устанавливается формою профиля фрезы, то значительно изменить режущее ребро у готового сверла очень трудно: шлифованием нужно создать заднюю грань так, чтобы получился постоянный задний угол установа.



Фиг. 233.

Движение сверла слагается из рабочего вращательного и поступательного перемещения (подачи) по оси вращения — все точки сверла описывают таким образом винтовые линии.

Если Ah есть направление вращения, перенесенное в плоскость, т. е. развернутая окружность круга боковой поверхности сверла, проходящей через точку A_1, а UA направление подачи, то точка A при подаче a за один оборот сверла будет двигаться по винтовой линии AS (фиг. 283).

От этой линии, которая представляется на чертеже в виде прямой линии, и необходимо вести измерение углов режущей кромки. Чтобы вообще решить, какую форму должен иметь режущий клин сверла для снимаемого слоя металла в виде завитой стружки, нужно себе представить, что на стружку, которая находится в соприкосновении с точкой A, расщепляющим образом может действовать лишь такая точка сверла, которая лежит на одном диаметре с точкой A^a, т. е. у лезвия получится вид развернутого цилиндра, на котором лежит исследуемая точка режущей грани.

Примем, что поверхность сверла развернута (фиг. 283), тогда передняя грань лезвия представляется линией AT, которая наклонена под углом в 60° к горизонтали Ah соответственно подъему спирали канавки: по этой грани скользит снимаемая

ребром A стружка. Форма задней грани лезвия, образующей с поверхностью материала задний угол γ (AS), тоже нетрудно определить. Если рассматривать только поверхность сверла, то задняя грань лезвия должна быть заточена так, чтобы линия AR не была подрезана книзу, иначе говоря линия, ограничивающая на поверхности сверла заднюю грань лезвия, в развернутом состоянии не представляет прямой, т. е. у сверла она не является винтовой линией.

При выборе угла установа нужно иметь в виду, что подача сверла изменяется в зависимости от свойств обрабатываемого материала, а следовательно меняется и наклон к горизонтали развернутой линии подач AS. Так как направление линии AR определяется шлифованием сверла, то ее наклон должен быть так подобран, чтобы желательный угол установа сохранился при наибольшей возможной подаче. Обыкновенно угол установа выбирается для средних условий работы и именно для наиболее часто встречающихся в обработке материалов: машиноделочной стали и мягкого чугуна. Таким образом для других возникающих условий работы получается наивыгоднейший угол установа из тех соображений, что для твердых и хрупких металлов его берут больше, для вязких и мягких — меньше; при первых в связи с этим получаются меньшие и для последних большие подачи, чем для указанных выше основных металлов.

На заточенном сверле измерить величину угла установа не представляется возможным, — измеряют обыкновенно угол между линиями развернутой задней грани AR и горизонталью, проходящей через A — Ah. Этот угол у сверла называют углом задней заточки, и величина его колеблется в пределах $10° \div 15°$, считая по поверхности сверла до точки A. Эти углы изменяются, если исследуемая точка лежит на меньшем диаметре. Подъем a винтовой линии спиральной канавки равняется $5 \div 8$-кратному диаметру D сверла, но если диаметр окружности исследуемой точки равен d, то угол подъема $\alpha°$, который задается выражением:

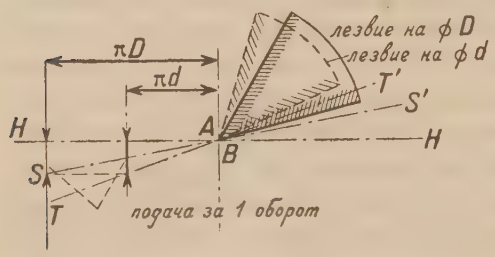
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{\pi \times D}$$

для диаметра d, имеющего внутри сечение сверла, будет больше, т. е. угол резания лезвия увеличивается, если D уменьшается.

Если например у сверла диаметром в 50 *мм* угол резания по поверхности равен 32°, то для точки, лежащей на диаметре 10 *мм*,

он будет равен 83°55′, предположим шестикратный подъем. Такой крутой подъем представляет большие затруднения для выхода стружки и режущее ребро уже не может достаточно хорошо резать, — оно шабрит металл и потому быстро изнашивается. Несмотря на уменьшающиеся к точке заострения сверла скорости резания, ребро в этом направлении быстро затупляется: это несовершенство, лежащее в основе конструкции спирального сверла, уничтожить в полной мере невозможно (фиг. 284).

Нужно заметить, что для определенной величины подачи сверла режущая точка лезвия B, лежащая на меньшем диаметре d, чем диаметр окружности точки A, будет двигаться не по той же винтовой линии SS', а по совершенно новой TT' со значительно большим углом подъема (фиг. 284).



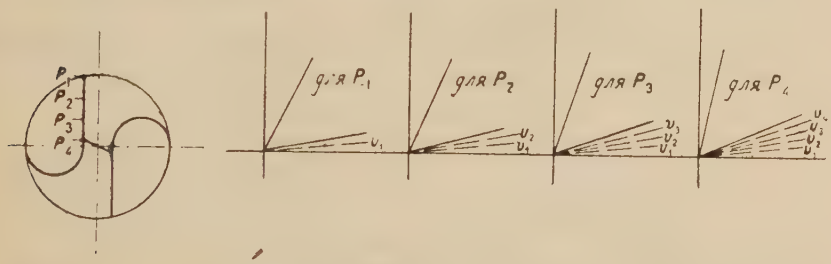
Фиг. 234.

Как уже упоминалось раньше, угол установа для этой части задней грани лезвия измеряется от положения винтовой линии, углы же задней заточки измеряются по горизонтали BH. Поэтому, если бы потребовалось, чтобы для всех точек режущего ребра углы установа были равными, то тогда получилось бы, что для всех тех же точек углы задней заточки нужно было бы сделать различными. Для выбранных выше разверток винтовых линий задней грани лезвия с диаметром $D = 50$ *мм* и $d = 10$ *мм* разница углов задней заточки при наибольшей подаче 63 *мм* равнялась бы 4°21′.

Мы однако не рекомендуем увеличивать к центру угол задней заточки на всю эту величину, — лучше увеличивать по направлению к центру угол установа, так как благодаря этому возрастают производительность и устойчивость лезвий сверла. Увеличение угла задней заточки к центру, чтобы достигнуть угла заострения, равного углу, соответствующему внешней окружности, не следует применять в полной мере еще и потому, что тогда при очень остром и тонком лезвие больше опасностей для поломок среднего заострения, и увеличением угла установа уже не удастся увеличить режущей его способности сверла.

Из указанных выше соображений можно установить границы для выбора угла задней заточки для наибольшего и наименьшего диаметров сверла; если величины задней заточки для наибольшего и наименьшего диаметров установлены, то этим самым они определены и для всех промежуточных точек, потому что увеличение угла задней заточки к середине идет по закону простой линейной пропорциональности, так как угол подъема заточенной нижней поверхности сверла от основания до середины рассверливаемой дыры также растет пропорционально первой степени.

Вышесказанное хорошо уясняется из сечений лезвий через четыре точки, представленных на фиг. 285. Подъем винтовой линии (направление подачи) для всех точек одинаков.



Фиг. 285.

Винтовая линия для P_1 обозначена v_1
" " " P_2 " v_2
" " " P_3 " v_3
" " " P_4 " v_4

Внутреняя поверхность спиральных канавок наклонена к производящей цилиндрической поверхности сверла таким образом, что у сверла получается угол резания 65°, т. е. весьма близкий к наивыгоднейшему для стали, — вследствие этого правильно заточенное спиральное сверло обязательно работает сплошной стружкой.

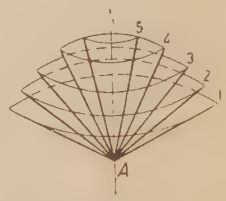
Чтобы сделать спиральное сверло более прочным, шаг спирали ходовых канавок иногда делают переменным и на практике это осуществляют так, что у конца его канавки делаются по более крутой спирали (винтовой линии), а начиная с одной трети длины к конусу, спираль становится постепенно более пологой. Это несколько улучшает и облегчает выход стружки, но в то же время при стачивании сверла более чем на $\frac{1}{3}$ длины угол резания уже несколько увеличивается, но так как он все еще остается близким

к наивыгоднейшему углу, то это не играет сколько-нибудь заметной роли для практических целей. Из тех же соображений и глубина канавки делается переменной таким образом, что внутренняя перемычка сверла, начиная с $\frac{1}{3}$ его длины, снизу вверх постепенно увеличивается, т. е. глубина канавки уменьшается. Толщину перемычки берут обыкновенно в пределах от $\frac{1}{10}$ до $\frac{1}{12}$ части диаметра внизу и от $\frac{1}{8}$ до $\frac{1}{10}$ вверху.

Чтобы сверло работало чисто и легко помимо всех прочих общих условий, внутренняя поверхность канавок должна быть совершенно ровной и гладкой — этим уменьшается трение стружки и значительно облегчается его работа.

Легкость работы и высокая производительность спиральных сверл, составляющие их ценные преимущества, увеличиваются тем, что трение при резании доводится до минимума. Мы уже видели раньше (фиг. 285), что нижняя коническая поверхность сверла совпадает с производящей прямого круглого конуса только по двум диаметрально противоположным линиям режущих ребер (фиг. 286), все остальные производящие, лежащие за режущим ребром, имеют меньший наклон к оси вращения сверла.

Фиг. 286.

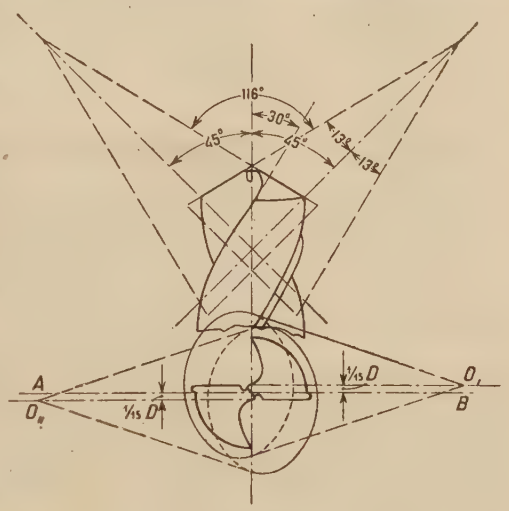


Фиг. 287.

Вследствие этого при вращении сверла каждая производящая этой конической поверхности описывает собственную коническую поверхность, и так как они все наклонены к оси вращения более, чем поверхность несущая режущие ребра, то они и будут лежать внутри конической поверхности, описанной режущим ребром (фиг. 287).

Задние грани режущих клиньев у спиральных сверл на практике в большинстве случаев состоят из двух конических поверхностей, которые получаются, если два конуса с углами при вершине в 26° и при взаимно перпендикулярных осях, смещенных диаметрально противоположно на $\frac{1}{15}$ D с линий симметрии ab, описаны так, что лезвия сверла совпадают с образующей конуса (фиг. 288).

При таких условиях угол резания получается наивыгоднейшим, а режущие грани, пересекаясь под углом в 116°, будут обязательно представлять прямые линии. С наличием такой формы нижней поверхности сверло во время работы прикасается к обрабатываемому материалу не по всей поверхности высверленного конуса, как это было бы, если бы нижняя поверхность представляла прямой конус, а благодаря тому, что нижняя часть представляет собой смещенный конус, сверло прикасается к обрабатываемому материалу лишь своими режущими ребрами. Так как поверхность вращения есть след вращающегося режущего ребра, то в силу того, что соприкосновение происходит всего лишь по одной линии, трение получается крайне малым. Все другие образующие, лежащие на заострении сверла, при вращении его вмещаются в этот конус и к материалу не прикасаются; таким образом сам собой образуется задний угол, способствующий легкости работы и служащий для сохранения лезвий.



Фиг. 288.

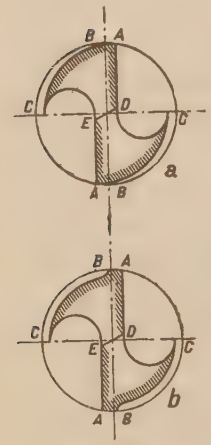
Дальнейшее уменьшение трения углубившегося в материал сверла достигается тем, что часть его боковой цилиндрической поверхности снимается по спирали, а иногда и просто по цилиндру на меньший диаметр (фиг. 289 a, b), а по самому краю лезвия остается узкая полоска *AB* основного цилиндра сверла.

В пересечении двух нижних конических поверхностей образуется узкое ребро *DE*, представляющее собой недостаток спирального сверла, и именно потому, что в той части, где от него требуется особо деятельное резание, это ребро имеет в пересечении угол резания равный 130°.

Этот недостаток сверла уменьшают тем, что с обеих сторон в пересечении ребра *DE* с лезвиями делают небольшие углубления — канавки (фиг. 288), сокращающие длину этой неудобной части. Однако эти углубления не должны быть настолько велики, чтобы

ослаблять верхушку конуса, и во всяком случае с длиною ребра DE не следует итти ниже $\frac{1}{14}$ диаметра сверла.

Все исключительно высокие качества спирального сверла оправдываются лишь при условии надлежащей заточки его и всякое уклонение от нее в значительной степени понижает работоспособность сверла и в корне уничтожает правильность рассверливаемых отверстий. Поэтому вопросу заточки сверл должно быть уделено особенное внимание.



Фиг. 289.

Изготовление спирального сверла.

В зависимости от того, в каком виде получается предварительная заготовка сверл, дальнейшая механическая обработка их ведется различными способами.

Наиболее дешевый способ массовой фабрикации сверл заключается в том, что их свертывают в спираль из полосового или специального материала в горячем состоянии. При такой заготовке механическая обработка доводится до крайнего минимума и таким образом создается необходимая дешевизна производства.

Спирально завитые сверла, изготовляемые многими американскими и европейскими заводами, представляют собою прекрасный фабрикат.

Заготовка, получающаяся в результате предварительной ковки или вальцовки, дает также более дешевый фабрикат, ибо здесь обнаруживается и значительная экономия металла и сокращение механической обработки.

Подготовительная обработка состоит в том, что из материала более тонкого, чем будущий диаметр сверла, в два нагрева — сначала в особой матрице выковывают прямые канавки, а затем в другой матрице они обжимаются по спирали. Чаще всего прямые канавки получают вальцовкою, а затем уже при вторичном нагреве их завивают в спираль. Недостаток такого метода приготовления сверл заключается в том, что при двухкратном нагревании металла часть углерода стали выгорает, а вальцованные канавки после закалки иногда поводит (коробит); механическая обработка здесь сводится

лишь к тому, чтобы без грубой обдирки металла довести очень тщательную поковку сверла до точных размеров по чертежу,— обработка обходится здесь немного дороже, чем в предыдущем случае.

Мелкие сверла до $\frac{3''}{8}$ вообще и крупные, там, где производство сверл не носит массового характера, выполняются из проволоки точного размера или из прутковой стали близких к диаметру сверла профилей (на 2 — 3 *мм* больше). В этом случае последовательность приемов обработки имеет весьма серьезное влияние не только на стоимость приготовления, которая всегда оказывается дороже, чем в предыдущих методах, но и на качестве изготовляемых сверл.

Так как в механических и машиностроительных заводах инструментальные цеха, играющие ныне весьма важную роль, в большинстве случаев не имеют специального оборудования для массовой фабрикации сверл, то рассмотрение именно третьего способа приготовления сверл представляет в наших отечественных условиях и должный интерес и крайнюю необходимость, ибо с ним и чаще всего приходится встречаться в практике.

В изготовлении сверл ,как это имеет место при фрезах и метчиках, нужно различать две стадии обработки: 1) механическая, холодная обработка до закалки и 2) механическая, холодная обработка после закалки.

Между ними происходит термическая обработка сверла, состоящая из весьма ответственной операции закалки и отпуска.

Обработка до закалки.

Обработка распадается на ряд операций, которые следуют друг за другом в определенном порядке, и при разной внешней форме материалов часть операций может исчезнуть или наоборот возникнуть снова. В общем и целом эта последовательность такова:

1) отрезка и заточка конца сверла,
2) подрезка в меру по длине,
3) центрование заготовки,
4) обработка верхнего конца,
5) обточка цилиндрической части,
6) фрезеровка концевых фасок,
7) фрезеровка канавок,

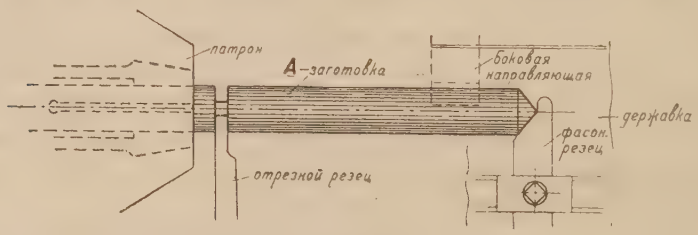
8) снятие задней грани,

9) проверка размеров сверла.

Операция № 4 имеет место лишь тогда, когда сверло имеет конический хвост, — при цилиндрическом эта операция совмещается с обработкой цилиндрической части сверла.

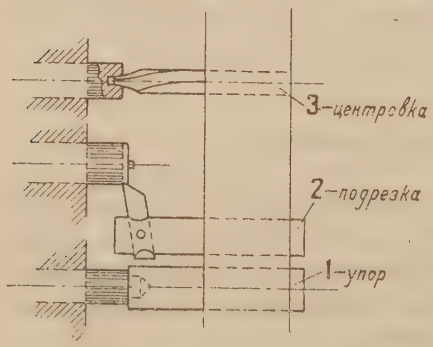
Отрезка и заточка конца сверла. Эта операция лучше всего производится на револьверном станке, у которого пруток, пропущенный через отверстие в шпинделе, выпускается по необходимой длине до упора и зажимается в автоматическом патроне (фиг. 290).

При посредстве направляющих призм, укрепляемых в державке, пруток *A* удерживается от прогиба во время обточки конца фасонным резцом. Резец и призма укреплены на общей державке и сидят



Фиг. 290.

в револьверной головке. Отрезка выполняется резцом, вставленным в закрепленный на месте отрезной суппорт, имеющий только ручную поперечную подачу. После отрезки остается маленький недорезанный выступ, легко удаляемый на точиле или иным путем.



Фиг. 291.

Операция отрезки и заточки при таком ее исполнении идет весьма быстро, и для сверла диаметром 12 *мм* выход со станка в течение одного часа определяется в 45 — 60 штук.

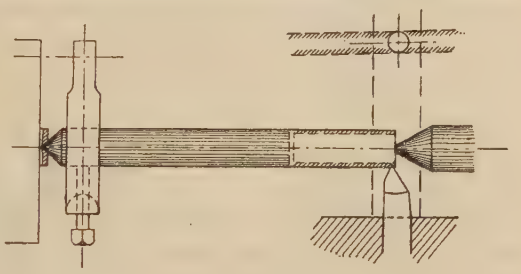
Подрезка верхнего конца в меру по длине производится либо стачиванием маленького выступа вручную на наждачно-точильном станке, когда отрез был произведен с тщательным сохранением длины, либо на револьверном станке, где вторичным упором точно

устанавливается окончательная длина и подрезным резцом зачищается торец (фиг. 291).

В последнем случае на этом же станке помощью центровального сверла, вставленного в державку револьверной головки, делается рабочий центр.

Центрование заготовки. Если заготовка после первой операции выходит в точную меру по длине, то после сошлифовки выступа центрование производится на специальных центровальных станках, дающих очень большую производительность (до 250 концов в час) и совершенно правильно заготовленные центры, качество коих имеет большое влияние на точность дальнейшей работы.

Обточка верхнего конца имеет место, когда сверло снабжается коническою верхушкою (крепительным конусом). Эту операцию лучше всего производить на точном токарном станке в поводковом патроне. Суппорт станка снабжается специальной конической линейкой, точно установленной (фиг. 292) по калибру для нормальных конусов; по ним же устанавливается и длина продольного хода резца. Эта операция очень ответственная, поэтому требует большой точности установа, полной упругости резца и правильности станка.

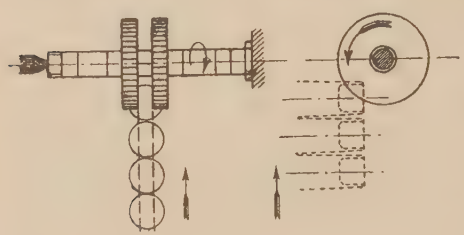


Фиг. 292.

Обточка цилиндрической части или всей длины сверла, когда оно снабжено цилиндрическою верхушкою (крепительный цилиндр), производится совершенно так же, как и предыдущая работа на точных токарных станках. Правильность обточки контролируется скобами; эту операцию рекомендуется всегда производить, даже когда имеется мерный, гладко-тянутый материал, ибо этой операцией достигается не только прочность размера и правильная цилиндричность, но ею могут быть обнаружены и выведены невидимые наружные пороки материала.

Фрезеровка концевых фасок делается только у сверл, снабженных коническим хвостом: производится эта работа на простом фрезерном станке либо вручную по одиночке, либо посадом в особых приспособлениях, зажимающих сразу по нескольку штук сверл.

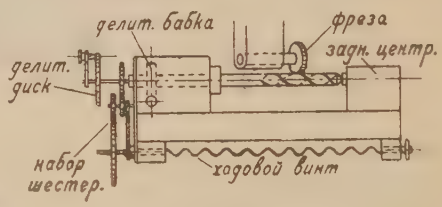
Обе фаски снимаются сразу двумя дисковыми фрезами (фиг. 293), закрепленными на горизонтальном шпинделе с точным сохранением расстояния между ними. Последнее достигается проставкою между фрезами кольца.



Фиг. 293.

Фрезерование канавок, образующих режущие ребра сверла и создающих направление для выхода стружки, могут быть выполнены самым разнообразным способом. При помощи универсального горизонтально-фрезерного станка в делительной бабке спиральные канавки, каждая в отдельности, нарезаются так же, как и спиральные прорезы на фрезах (фиг. 294).

Точность работы при таком способе фрезеровки канавок может быть достигнута вполне достаточная, но время изготовления сравнительно велико.



Фиг. 294.

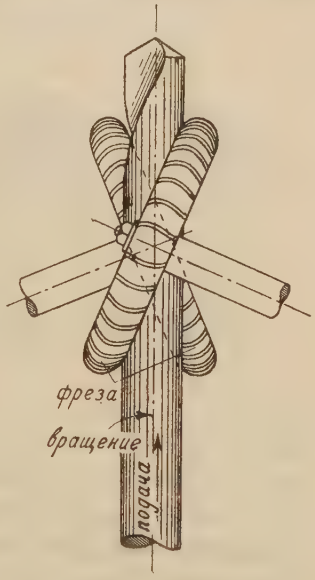
Недостаток этого способа заключается в том, что сверло во все время обработки его получает постоянную скорость вращения и подачи, а потому канавки выходят здесь с одинаковым по всей длине шагом и постоянною глубиною.

При массовом производстве спиральных сверл для нарезания канавок употребляются специальные фрезерные автоматы, нарезающие в две фрезы одновременно обе канавки, причем конструкция большинства таких станков допускает нарезку спиральных канавок с переменным шагом и переменною глубиною.

У этих станков шпиндели, несущие фрезы, сделаны так, что они допускают возможность изменения их наклона к оси станка. Сверло устанавливается горизонтально (фиг. 295) и получает автоматическую подачу вдоль оси и вращательное движение около нее; для нарезания канавок шпиндели, несущие фрезы, устанавливаются по отношению к оси вращения сверла под углом в $90^\circ - \alpha^\circ$, где α° есть угол подъема спирали. В силу этого фрезы располагаются в двух пересекающихся между собой плоскостях, из которых каждая с осью сверла образует угол, равный углу подъема (α°)

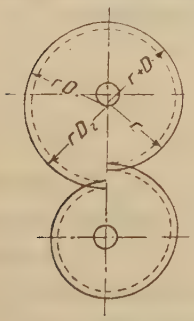
спирали. Переменный шаг нарезаемой спирали осуществляется у этих станков применением весьма простого передаточного механизма.

Поступательное движение шпинделя, несущего сверло, остается равномерным, но скорость вращения его вначале равномерная к концу работы становится ускоренной, в силу чего и крутизна канавок уменьшается. Это осуществляется при помощи пары эллиптических шестерен (фиг. 296) таким образом, что в начале работы диаметр ведущего колеса *r*, а к концу он постепенно увеличивается, чем и достигается к этому моменту ускоренное вращение шпинделя.



Фиг. 295.

При нарезке канавок на таких специальных станках нет надобности в делительной бабке, ибо шпиндель устанавливается сразу не только под определенным углом к оси и друг к другу, но и самому сверлу дается вполне определенная подача и начальная скорость вращения, соответствующая спирали данного шага. Изменение глубины канавки достигается автоматическим удалением фрезерных шпинделей от оси вращения сверла по мере удлинения спирали. Для нарезания канавок употребляются фрезы специального профиля, о котором сообщалось выше (фиг. 282). Они всегда делаются с задней заточкой и это обеспечивает сверлу постоянство профиля канавок и получение угла резания близкого к наивыгоднейшему.

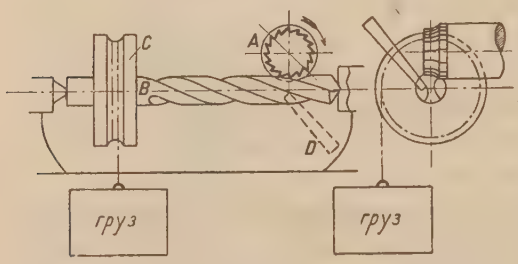


Фиг. 296.

Снятие задней грани. Как уже указывалось ранее, чтобы сверло при работе не терло своими задними гранями, их обыкновенно удаляют, оставляя лишь узкую полоску полного размера диаметра у самого лезвия сверла.

При массовой фабрикации сверл эта работа производится на специальных автоматических фрезерных или шлифовальных станках, которые сразу снимают обе грани сверла и придают ему вид, показанный на фиг. 289.

Однако в инструментальных мастерских, даже при весьма крупных машиностроительных заводах, такие станки встречаются крайне редко, и обеспечить их достаточным количеством работы, чтобы избежать простоя, очень трудно, если изготовление сверл не служит основным производством массового характера. Здесь эта работа производится на простых или универсальных горизонтально-фрезерных станках обычного типа при посредстве аксиальной фрезы *A* (фиг. 297). Сверло *B* укрепляется неподвижно в центрах и на него насаживается блок с грузом, вращающим его во время работы. Чтобы при движении сверла вместе со столом в осевом направлении оно могло под действием груза совершать вращение по винтовой линии, в одну его канавку упирается палец *D*, неподвижно укрепленный на станке, при этом фреза будет снимать с задней грани слой материала по профилю *BC* (фиг. 289 b). Такой способ работы оказывается очень дешевым, обеспечивает необходимую точность и дает возможность выбором фрезы и величины ее погружения получить для нетронутой полоски *AB* любую желательную ширину.



Фиг. 297.

Проверка сверла. После снятия задней грани у сверл оно подвергается проверке по всем направлениям помощью калибров, лекал, пройм и скоб, очищается от оставшихся заусениц и приставшего к нему во время работы масла, снабжается клеймами на свободной части между хвостом и нарезкою и направляется для дальнейшей обработки.

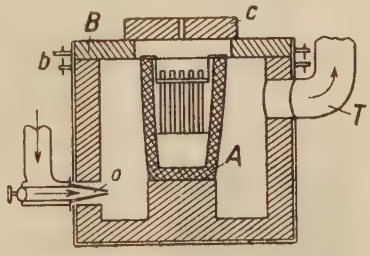
Закалка сверла.

Закалка сверла, завершающая собой первую фазу работ по изготовлению их, является одной из самых важных и ответственных работ: она должна быть такова, чтобы твердость режущих граней была больше, чем твердость внутренней части канавки. Правильно закаленное и хорошо обработанное сверло до полного своего износа сохраняет свою твердость и не требует повторной закалки,— в этом большое преимущество спиральных сверл.

Наилучшей температурой нагрева углеродистых сверл для закалки является вишнево-красный и светловишневый накал, т. е. приблизительно 750°—800° С.

Нагревание производится в специальных печах с соляной ванной, которая представляет собой поваренную соль с прибавлением соды (Na_2CO_3), калийной селитры (KNO_3), хромокалиевой соли (K_2CrO_4), буры ($Na_2B_4O_7$), и железо-синеродистого калия [$K_4Fe(CN)_6$] и в зависимости от состава имеет температуру плавления от 500° до 820° С.

Простейшая печь для закалки сверл устраивается в виде железного цилиндра с высотою 1 *м* и диаметром 900—1100 *мм* с обмуровкою внутри из огнеупорного кирпича или шамота толщиною в 125 ÷ 150 *мм* (фиг. 298).

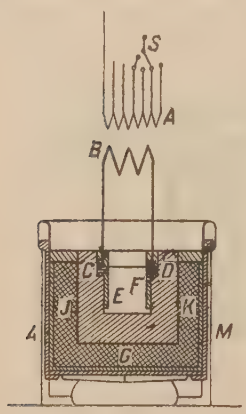


Фиг. 298.

Огнеупорный слой отделяется от кожуха асбестовой изоляцией. Сверху печь прикрывается плотною плитой (крышкой) *B* и люком для пропускания тигля. Эта плита отнимается только во время ремонта, вообще же она помощью болтов *b* притянута к нижней части и сверху еще закрывается крышкой *C* с отверстиями для пирометра. В нижней части через отверстие *O* подводится воздух и нефть, служащая топливом, а отработанные газы выводятся в верхней части через трубку *T*, в которой имеется регулирующий шибер. В ванну с расплавленной солью вставляется сразу значительный набор сверл, укрепленных вертикально в особой каркасной решетке и погруженных в соль до конца спиральных канавок. В виду того, что пары калийной селитры и синеродистого калия (желтая кровяная соль) очень вредны, над печкой делают вытяжной зонт и ставят эксгаустер. Для охлаждения служит либо подкисленная вода, либо масло, — в первом случае охлаждение доводят до температуры 180°—200° С, тогда в силу того, что сверло внутри обладает значительно высшей температурой, происходит отпуск до желательного побежалого цвета; во втором случае охлаждение доводят до комнатной температуры и отпуск производится отдельным нагревом. При охлаждении сверл в воде и в масле никогда не следует погружать их сразу — это может повлечь за собой неравномерную закалку и сильное коробление. Делается это

обыкновенно так, что сверла в этой же рамке, в которой нагревались, медленно и совершенно вертикально погружаются в жидкость и в течение $1\frac{1}{2}$ — 2 минут равномерно поднимаются и опускаются, благодаря чему устраняется возможность образования паровой прослойки вокруг сверла, служащей причиной неудачной закалки от неравномерного охлаждения.

Нагревание сверл в пламенных печах и горнах крайне нежелательно и допустимо в исключительных случаях с помощью хорошего обожженного и сухого березового угля. Для получения совершенно равномерного нагрева сверл в настоящее время чаще всего применяются электрические соляные печи (фиг. 299).



Фиг. 299.

Смесь солей хлористого бария и хлористого калия находится в прямоугольном тигле G из огнеупорного вещества, в стенки которого введены электроды E и F, состоящие из железных полос. Клемы C и D сделаны из меди и присоединены к вторичной обмотке трансформатора B, который, трансформируя переменный ток нормальной сети в ток напряжения 55 V — 25 V, направляет его в печь.

Чтобы точно установить силу тока и регулировать температуру соляной ванны помощью регулятора S, можно включать и выключать отдельные витки первичной обмотки A. Измерение температуры производится при посредстве термометра или просто контролем по таблицам показаний амперметра. Так как соль становится электропроводимой лишь в жидком состоянии, то для пуска печи в тигель насыпают небольшой слой смеси солей и на дно бросают кусочек угля от дугового фонаря, чтобы он прикасался к отрицательному полюсу. Помощью дополнительного провода, соединяющего уголек с положительным полюсом, замыкается цепь и постепенно расплавляется полоска от одного до другого электрода. Когда полоска жидкой соли соединит электроды, тигель дополняется солью доверху и под действием тока в 3 ÷ 4 мин. она превращается в жидкое состояние, куда и погружают указанным выше порядком сверла. После нагревания в соляной ванне сверла нужно охлаждать в соленой воде, чем предохраняется появление на них ржавчины.

При пользовании соляными ваннами закаляемые сверла очень рекомендуется вытирать бензином, чтобы удалить с их поверхности масляные пятна и особенно влагу, ибо от последней внутри ванны получается очень бурное кипение и выбрасывание наружу.

Отпуск.

После закалки хорошо вытертые сверла подвергаются отпуску, для чего их кладут на нагретую чугунную плиту и по цветам побежалости следят за наступлением требуемой твердости.

Еще лучше отпуск сверл вести в соляных ваннах, составляемых из азотно-кислых солей бария и калия, плавящихся уже при температуре около 200° С. В этом случае сверла погружают в ванну вертикально, верхушкой вниз до начала канавок и по достижении соломенно-желтого побежалого цвета их замачивают в воде до полного охлаждения и окончательно промывают в содовом растворе.

Температура нагрева при отпуске сверл колеблется в пределах от 220 до 260° С.

Раньше чем приступить к окончательной заточке сверл после закалки и отпуска, их подвергают тщательной проверке по калибрам и лекалам; затем удаляют с них все механически приставшие загрязнения. Последнее имеет также целью придание сверлу необходимой внешности, — для этого чистка производится в особых пескоструйных аппаратах, из которых они выходят совершенно равномерно покрытыми матовой окраской.

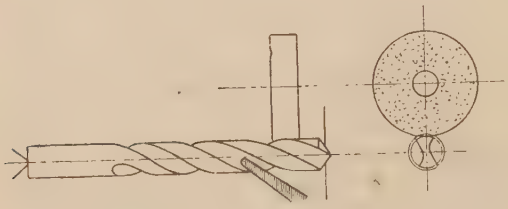
Шлифовка.

Шлифовка сверл после закалки преследует три цели: во-первых она применяется у мелких сверл до $\frac{1''}{2}$ для снятия задней грани вместо фрезеровки их, во-вторых — шлифованием всей нарезанной цилиндрической части сверлу придают маленькую коничность к головке с целью облегчить его работу уменьшением трения в дыре, и наконец в-третьих шлифовка применяется для заточки его режущих ребер.

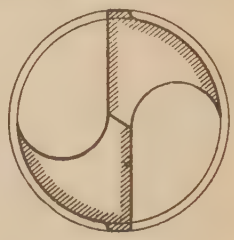
Шлифовка задней грани помощью наждачного кружка имеет место лишь в случае приготовления мелких сверл и производится на универсально-шлифовальном станке таким же точно способом,

как это делалось на фрезерном и только вместо аксиальной фрезы в этом случае употребляется наждачный круг (фиг. 300).

Прошлифовавши одну грань, сверло помощью бабки поворачивают на 180° и шлифуют вторую его сторону, при этом кружок



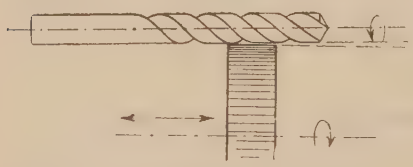
Фиг. 300.



Фиг. 301.

снимает стружку по цилиндрической поверхности (узкая полоска по краю канавки), эквидистантной первоначальной поверхности цилиндра (фиг. 301), в отличие от спиральной поверхности, получающейся при исполнении той же работы на фрезерном станке.

Шлифовка нарезанной цилиндрической части. Эта работа, имеющая целью придать нарезанной части сверла маленькую коничность с уменьшением диаметров к верхушке, производится на универсально-шлифовальных станках. Обычно эта коничность в зависимости от величины диаметров сверл делается различной, но, как правило, можно принять, что на каждые 100 *мм* длины нарезанной части диаметр уменьшается от 0,05 до 0,1 *мм*. Для исполнения на шлифовальном станке такого конуса берут выточенную и закаленную коническую оправку и устанавливают ее на станке так, чтобы шлифовальный круг прикасался к поверхности оправки по всей ее длине.



Фиг. 302.

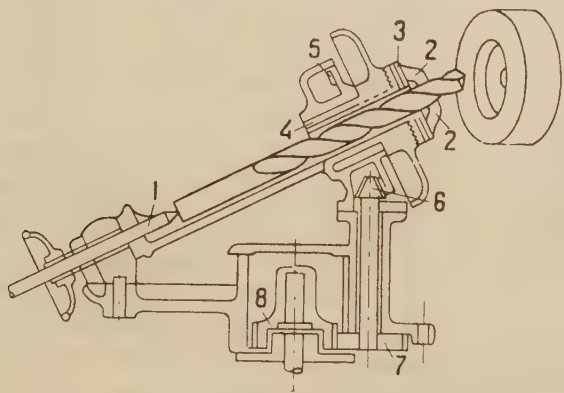
Найденный таким образом уклон стола фиксируется и в таком его положении на установленных на нем центрах укрепляется сверло (фиг. 302).

Чтобы сверло при нагревании его кружком не опускалось, эту работу всегда производят с сильной охлаждающей струей воды.

Заточка сверла. Правильная заточка спирального сверла имеет громадное значение не только для качества его работы, но также сильно влияет на продолжительность его службы и произ-

водительность. Обычно заточка сверла производится наждачными кругами на специальных точильных станках.

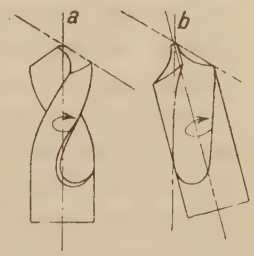
Сверло у таких станков закрепляется в особой державке на суппорте, могущем вращаться около некоторой оси, и потому в отношении шлифовального круга положение его можно всегда определенным образом фиксировать и придать ему движение, соответствующее той части его конической поверхности, которая обра-



Фиг. 303.

зует постоянный задний угол во время работы. Чрезвычайно удобным станком для заточки сверл является станок Meyer & Schmidt — Offenbach am Main (фиг. 303).

Здесь сверло укрепляется в суппорте так, что с одной стороны оно упирается в центр 1, а с другой зажато в губках 2 — 2 патрона 3. На одной втулке (4) с патроном сидит коническая шестерня 5, приводящая во вращение шестерню 6. Вращение сверла осуществляется от шкива, сидящего на приводном валу, через посредство шестерней 7 и 8.

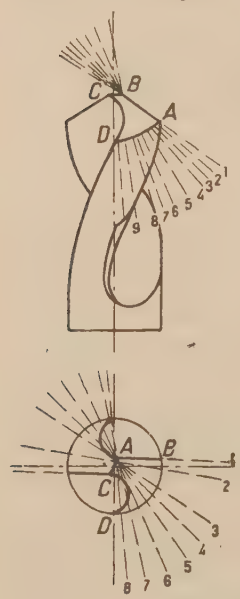


Фиг. 304.

Сверло устанавливается так, что одно его лезвие прикасается к шлифовальному кругу. Шлифование задней поверхности происходит следующим образом: сверло вращается около своей оси, одновременно подается к кругу и поворачивается шлифовальным концом в сторону затачиваемой грани. Подача и поворачивание происходит в продолжение 90°; если сверло продолжает вращаться далее, то на протяжении следующих 90° наступает обратная подача и повертывание сверла до первоначального положения.

Фиг. 304 *a* показывает положение сверла, когда оно прикасается к кругу по прямой режущей грани, стрелки показывают направление движений. Та же фигура (рисунок *b*) показывает сверло в положении повернутом на 90°, т. е. в конечном положении шлифования.

Задние грани можно себе представить образованными из прямых, которые совершают описанные выше движения на неподвижном сверле (фиг. 305). Образующая конуса расположена косо относительно оси сверла и, поворачиваясь вокруг нее, все время изменяет свой наклон к оси: при этом получается косая винтовая поверхность (косой конус) *ABCD*.



Фиг. 305.

Чтобы характеризовать полученную поверхность задней заточки, нужно проследить движение сверла относительно плоскости шлифовального круга. Последняя в каждый момент представляет собой касательную плоскость к образуемой шлифованием поверхности. Если бы сверло, находящееся в косом положении к плоскости шлифовального круга, отклоняло при вращении собственную ось от центра, то образовалась бы такая поверхность конуса, вершина которого лежит вне оси сверла (фиг. 306).

Сущность заточки сверла заключается в том, что в первый момент оно своею режущей кромкой касается плоскости шлифовального круга по производящей 1 (фиг. 306 b) [1]).

Затем в следующие моменты вращение сверла будет таково, что в соприкосновении с кругом приходят производящие скошенного конуса *A*2, *A*3, *A*4, *A*5 и *A*6, составляющие с осью сверла все уменьшающиеся углы, а значит шлифовальный круг в каждый следующий за положением *A*1 момент будет снимать все больший и больший слой металла. Отсюда следует, что для заточки сверло нужно привести в соприкосновение с кругом его режущим ребром *AB*, поставив сверло наклонно к плоскости круга как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях.

Во время заточки сверло, прижатое к кругу, остается в неизменном положении в вертикальной плоскости, а в горизонтальной

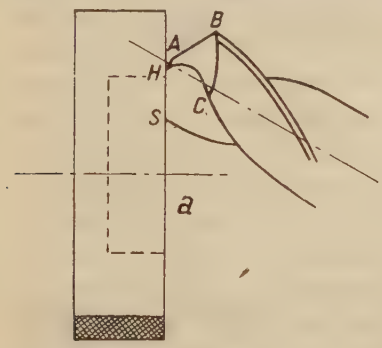
---

[1]) Дмитриевский. Инструментальное дело.

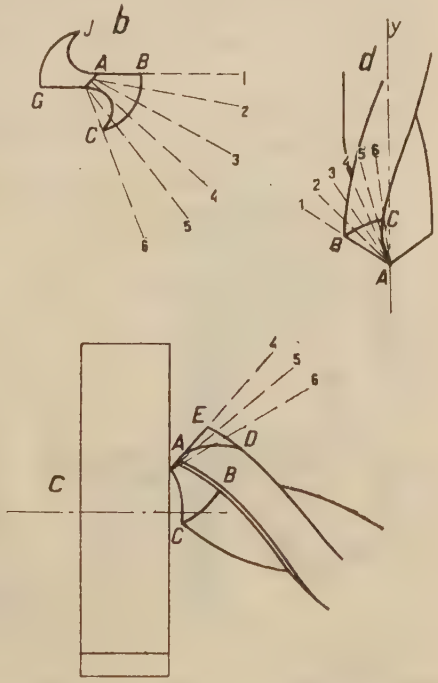
оно постепенно поворачивается, причем линии соприкосновения его с кругом все время меняются и будут в последовательном порядке производящими $A2$, $A3$, $A4$....

Положение сверла во время заточки в его начальном и конечном положении хорошо можно уяснить из эскизных рисунков фиг. 307, дающих виды его сбоку и сверху.

Спиральное сверло, правильно изготовленное и хорошо закаленное и заточенное указанным выше способом, является



Фиг. 306.



весьма совершенным инструментом.

Как видно из фиг. 306 *a*, всякое спиральное сверло имеет три режущих элемента: ребро AB, остроконечность AH и ребро SH. Из них режущими являются собственно только ребра AB и SH, а остроконечность, как неизбежный недостаток спиральных сверл, только шабрит материал и увеличивает работу трения.

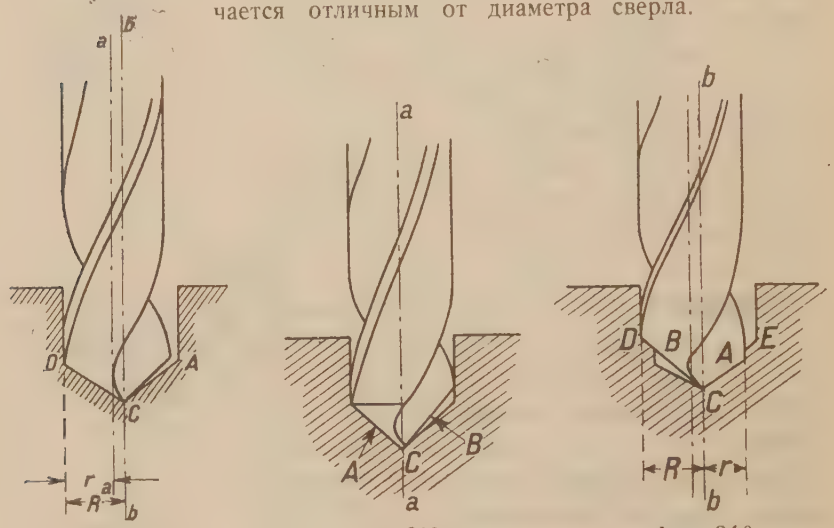
Фиг. 307.

Для достижения высокой производительности сверла необходимо, чтобы оба режущих ребра AB и SH были одинаковой длины и составляли с осью сверла совершенно равные углы.

1) Предположим, что сверло заточено так, что ребро DC длиннее ребра AC (фиг. 308), тогда усилие подачи будет больше передаваться на ребро DC, которое окажется больше нагруженным и следовательно быстрее затупится; особенно сильное влияние это будет оказывать на угол D, могущий легко сломаться.

В силу однобокой нагрузки ребро AC будет уклоняться в сторону от оси вращения aa в положение bb, и дыра получится большего диаметра ($2R$), чем диаметр самого сверла ($2r$): оно разбивает дыру.

Работа таким сверлом непрактична в смысле износа его и неудовлетворительна ввиду того, что размер дыры получается отличным от диаметра сверла.



Фиг. 308. Фиг. 309. Фиг. 310.

Чем глубже отверстие, тем меньше становится точность дыры.

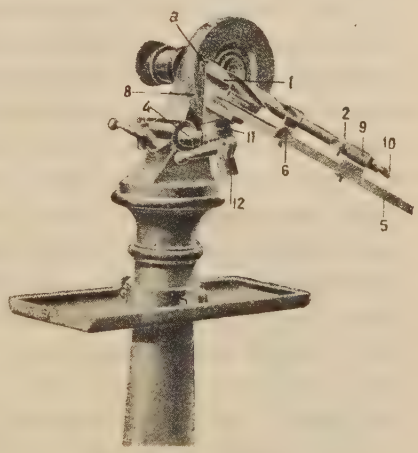
2) Если сверло заточено так, что одно ребро длиннее ребра и углы, составляемые ими с осью сверла, разные, тогда остроконечность C сместится с оси сверла и при работе оно будет вращаться около оси bb. В этом случае каждое ребро будет производить свою работу и получатся как бы два сверла: первое, делающее одним ребром дыру по диаметру равному $2r$ и снимающее стружку по CE, и второе, развертывающее одним ребром эту дыру по диаметру $2R$ и снимающее стружку BD (фиг. 309).

Такое сверло дает всегда правильную дыру, но размером больше диаметра сверла на величину $R - r$. Чтобы угол D от большой

нагрузки на ребро *B* не изнашивался, здесь нужно брать уменьшенную подачу.

3) Если остроконечность совпадает с центром сверла, но длина ребер *A* и *B* различна, т. е. различны углы их наклона к оси вращения, то работать будет только одно ребро *A* (фиг 310). При этом получается, что ребро *A* работает по наклонной плоскости и потому остроконечность *C* стремится уклоняться в противоположную сторону, тем самым разбивая и увеличивая диаметр дыры.

Из рассмотренного следует, что для того, чтобы сверло могло работать продолжительное время без новой заточки, чтобы подача его была достаточно велика, а скорость вращения наивыгоднейшей при полной правильности размеров дыры, необходимо его затачивать так:



Фиг. 311.

4) Нижняя поверхность его должна представлять собой коническую поверхность, дающую в пересечении со спиральными канавками прямые режущие кромки; задняя грань должна представлять собою поверхность, образующую постоянный задний угол: длина прямых режущих кромок должна быть совершенно одинаковой, углы, образуемые ими с осью вращения, должны быть равны между собой, остроконечность должна совпадать с осью вращения сверла и не превышать по длине $\frac{1}{10}d$.

Эти общие указания, в значительной степени обеспечивающие при точном их исполнении удовлетворительную заточку и работу сверла, предъявляют к инструментальной мастерской требование вести работу по заточке сверл не только с достаточным вниманием, но и требуют применения специальных автоматических станков. Применение в инструментальных мастерских машиностроительных заводов специальных автоматов для заточки сверл очень редко может оправдаться хозяйственно-экономическими соображениями, ибо они при большой точности и громадной производительности часто оказываются мало использованными: они не окупаются,

если конечно не будет введена массовая фабрикация сверл для продажи на рынок.

Весьма распространенным типом станков заточки сверл служит весьма упрощенное наждачное точило (фиг. 311) с поворотным ручным аппаратом, построенным по принципу Washburn-College, выполняемое очень многими русскими и иностранными заводами: этот станок при правильном его использовании дает хорошую заточку у спиральных сверл.

Для уяснения принципа работы на нем и способа получения заточки рассмотрим его устройство и использование. Сверло, подлежащее заточке (шлифовке), закладывается между щеками *1* и *2*, из коих *1* может быть неподвижна, и болтом *3* защемляется по толщине конца сверла. Горизонтальный валик (рукав) *4*, который несет на себе поддержку суппорта сверла *5*, по щеке *1—2* так устанавливается, что расстояние *a* может быть сделано столь малым, сколько это желательно. Затем сверло устанавливается на призму *6*. На конце суппорта у шлифовального круга имеется язычок *8*, который дает возможность выдвинуть сверло на величину желательного стачивания. Далее сверло закрепляется упорным винтом *10*, проходящим через бабку *9*. Вся державка сверла устроена подвижно около оси *11—12*. При шлифовании сверло удерживают левой рукой, а правой поворачивают державку около оси *11—12* вперед и назад. Помощью болта *10* сверло можно приближать к шлифовальному кругу. Когда одна сторона сверла сточена, его поворачивают на 180° и повторяют снова ту же работу. Окончательную заправку с обеих сторон делают с одного установа упорного болта, чтобы получить лезвия режущих ребер равной длины.

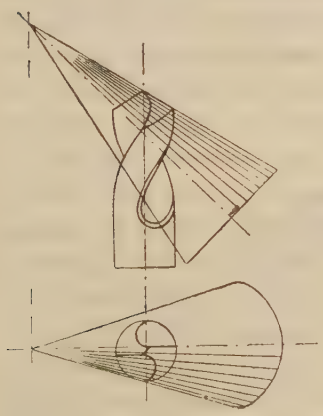
В начальном положении шлифования сверло прикасается к кругу по прямому режущему ребру. Задняя заточка получается при этом так, что сверло, неподвижно закрепленное в державке, приобретает качательное движение вместе с нею около оси *11—12*, следовательно все точки его описывают дуги кругов. Особенно просто уясняется это движение, если представить себе сверло неподвижным, а шлифовальный круг совершающим качательное движение, которое состоит только из вращения около оси *11—12*. Тогда в начальном положении поверхность шлифовального круга прикасается к сверлу по прямому режущему ребру, — она в этом положении составляет плоскость, касательную к поверхности задней заточки, — это имеет место и для всех прочих положений вращения. Но так как шлифовальный круг не изменяет своего положения к оси *11—12*, то во

всех положениях вращения он образует конус с осью, совпадающей с *11—12*, и боковой поверхностью, совпадающей с поверхностью задней заточки (фиг. 312).

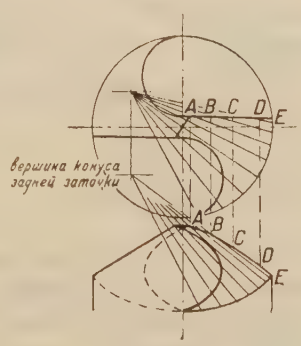
На приведенной выше фигуре сверло представлено с конусом, который образует его заднюю грань. Сверло в начальном положении, естественно, так наклонено к шлифовальному кругу, что угол при его вершине дает желательную величину в 116°.

Угол наклона конуса к шлифовальному кругу выбран так, чтобы конус имел угол при вершине в 26°. Из фигуры видно, что ось конуса в горизонтальной плоскости не совпадает с режущим ребром и проходит параллельно в стороне на некотором расстоянии от него: оно равно $\frac{1}{12}$ — $\frac{1}{14}$ диаметра сверла.

У данного станка это расстояние определяется при помощи язычка *8*



Фиг. 312.



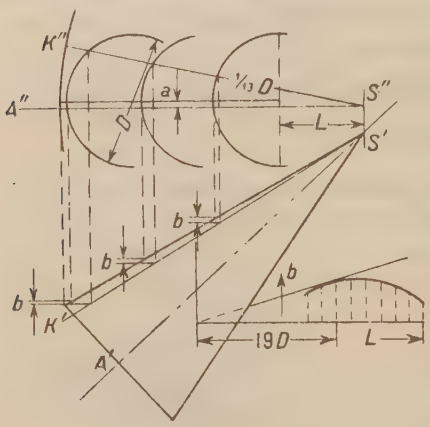
Фиг. 313.

(фиг. 311), скос которого устанавливается в соответствии с различными диаметрами сверл.

В действительности на этой машине режущие кромки образуются пересечением с поверхностью не одного конуса, а целого ряда их, как это в несколько извращенном масштабе изображено на фиг. 313.

Чтобы определить форму лезвия, которое получается благодаря множеству этих конических поверхностей, нужно найти их сечение с передней гранью, которая представляет собой винтовую поверхность канавки сверла. Соответственно различным образующим конических поверхностей одна спиральная поверхность канавки не может пересечь их по прямой, как это необходимо для образования прямолинейного ребра, — здесь получается несколько изогнутое лезвие.

Однако ввиду того, что оно весьма мало отличается от прямой, этот недостаток не имеет никакого практического значения и им обычно пренебрегают. Расстояние оси сверла от вершины конуса, образующего заднюю заточку, определяется конструкцией станка: это расстояние не может быть произвольным и так как от него в большой степени зависит качество работы сверла, то при выборе его нужно пользоваться положительными данными опыта. По исследованиям Валлиша и Барта[1]) (Prof. Wallichs & D-r Barth), оно равняется 1,9 D и может быть определено следующим образом: угол установа представляется наклоном касательной и кривой задней заточки в данной точке режущего лезвия. Эта касательная (фиг. 314) со своей стороны определяется величиной b, которая находится пересечением поверхности конуса с поверхностью цилиндра в бесконечно близком расстоянии от данной точки режущей кромки: оно изменяется все время по мере удаления оси сверла от вершины конуса. С увеличением этого расстояния b сначала растет, а затем снова убывает. Максимальное значение b можно найти графически, как это видно из фиг. 314; оно соответствует на оси абсцисс наивыгоднейшему расстоянию вершины конуса от оси сверла и дает для последнего значение равное 1,9 D.



Фиг. 314.

Из фиг. 315 и 316, где заточка сверла построена при помощи конуса с расстоянием его вершины от оси сверла равным 1,9 D, видны формы лезвия для пяти различных точек режущего ребра.

Угол установа для режущей точки у наружной окружности сверла можно рассматривать, как величину вполне достаточную. Соответственно сказанному выше он растет к вершине конуса и в точке, лежащей на окружности CD, достигает 8°30′, но затем постепенно убывает к кругу AB до 4°15′ и далее у центра становится совсем малым. Если уменьшение угла происходит на большой длине

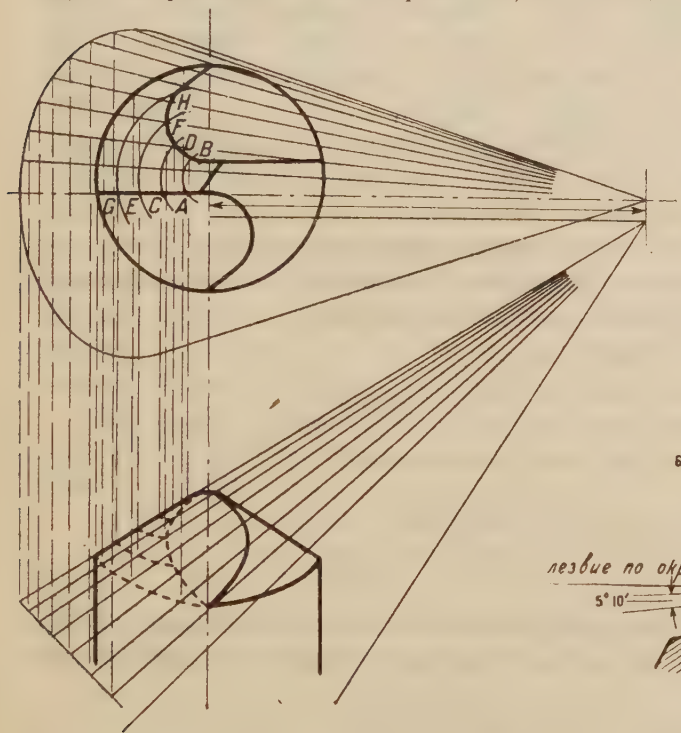
---

[1]) W. T. 1911. S. 615 и далее.

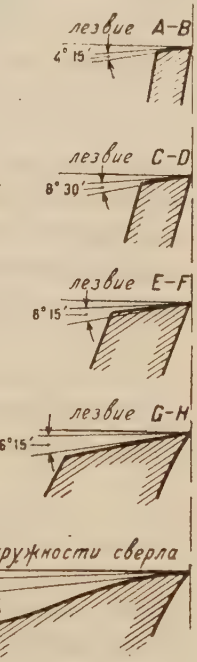
и угол становится малым, близким к 0°, то сверло работает тяжело и требует большого расхода энергии.

Обычно при таком способе заточки уменьшение угла установа, начиная с максимального его значения, равного 8°30′, получается очень близко у остроконечности сверла и потому шабрящая длина лезвия выходит короткой, что значительно улучшает работу его.

Существует еще множество других типов станков для заточки сверл, построенных на иных принципах, но в общем результаты их



Фиг. 315.



Фиг. 316.

едва ли значительно выше, а при большой сложности их конструкции и обслуживания рассмотренный прием нужно считать для практики вполне удовлетворительным.

Выбор скоростей резания.

Полезный эффект всякого станка измеряется количеством стружки, которую он может снять в единицу времени, оно получается из:

$$G = \frac{q \times v}{1\,000} \cdot \gamma \cdot 60 \frac{кг}{час},$$

где под q понимается площадь сечения стружки в *мм*², v — скорость резания в $\frac{м}{мин.}$ и γ — удельный вес металла. Из уравнения видно, что полезный эффект станка возрастает с увеличением скорости резания. Последнее однако ограничивается пределом стойкости самого инструмента. Главная причина, ограничивающая величину скорости резания, заключается в чрезвычайном нагреве инструмента. Если углеродистую инструментальную сталь нагреть в пределах от 200 до 300° С, углерод ее (C) выделяется в виде свободного карбида Fe_3C и делает лезвие мягким и тупым. Поэтому при грубой работе инструментом из углеродистой стали достигнуть на мягкой стали скорости более 12 *м/мин* и на чугуне более 14 *м/мин* едва ли возможно без значительного вреда для инструмента, так как нагрев на 150° С отпускает лезвие до заметного размягчения. Экспериментальные данные для работы на токарных станках, дающие нижеуказанные зависимости, в известной мере можно распространить и на сверла. По данным Тейлора давление на лезвие при резании мягкого чугуна равно:

$$Kw = 88\,\frac{t^{\frac{14}{15}} \times s^{\frac{3}{4}}}{t \times s} = \frac{88}{\sqrt[15]{t} \times \sqrt[4]{s}}$$

и при твердом чугуне оно увеличивается в 1,57 раза:

$$Kh = 138\,\frac{t^{\frac{14}{15}} \times s^{\frac{3}{4}}}{t \times s} = \frac{138}{\sqrt[15]{t} \times \sqrt[4]{s}}.$$

Но чем больше удельное давление K, тем больше нагрузка на режущее ребро, тем меньшую скорость вращения можно давать станку, ибо

$$N = \frac{q \times K_{max} \times V_{min}}{60 \times 75 \times h}.$$

Для рационального использования инструментов очень важно помнить, что полезный эффект значительно больше при снятии толстых стружек и низких скоростях резания, чем наоборот при тонких стружках и больших скоростях: большие скорости оказывают на нагревание инструмента значительно большее влияние, чем величина сечения стружки. Поэтому в обращении с инструментами из углеродистой стали, благодаря их малой противостойкости нагреванию, требуется особая внимательность, чтобы не допустить перегрузки и перегрева.

Совершенно иначе к нагреву относятся быстрорежущие стали при большом содержании Cr (хрома) и W (вольфрама); температура превращения углерода лежит ниже окружающей температуры воздуха, если закалка была произведена при достаточно высоком нагреве, — здесь раствор углерода в железе более устойчив. Быстрорежущие стали могут поэтому закаливаться в воздухе, так как выделение свободного карбида железа, делающего лезвие мягким, здесь не имеет места: они сохраняют свою работоспособность при нагревании до температуры 600° C, т. е. до температуры темно-красного накала.

Опыты с быстрорежущими сталями показывают, что затрачиваемая при резании работа A превращается в работу механического расщепления металла $W_1 \cdot v$ и в работу нагревания E:

$$A = W_1 \cdot v + E.$$

Величина E, по исследованиям Герберта (Herbert), растет пропорционально третьей степени скорости, т. е. пропорционально v^3. Высокие скорости резания нагревают таким образом сталь до очень высоких температур, так как при непрерывной работе, например сверла, не получается достаточного времени для отвода тепла.

При больших скоростях резания работа быстрорежущими сталями логически требует еще более сильных и толстых стружек, обеспечивающих хорошие пути для отвода тепла.

Введение охлаждающих жидкостей, увеличение ширины стружки и уменьшение подачи еще более благоприятствуют быстрорежущим инструментам.

Для сравнения работы сверл приводим данные о допустимых скоростях резания для углеродистых и быстрорежущих сталей.

Таблица 21.

Название материалов	Скорость резания спиральных сверл	
	Углерод. сталь V м/мин	Быстрореж. сталь V м/мин
Чугун машиноделочный	7—12	15—30
Сталь мартеновская	7—10	10—25
Железо кованное	8—11	20—35
Латунь и медь	18—25	40—100 [1]

[1]) Специальным сверлом.

Таблица 22.

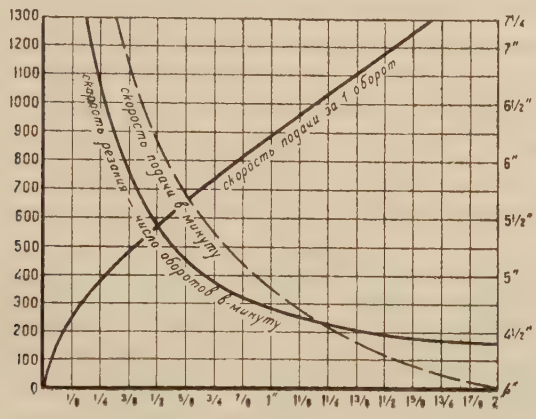
D сверла в *мм*	Величина подачи				
	6—9	9—15	15—25	25—40	40—60
Машиноподел. сталь	0,1—0,15 / 0,15—0,25	0,15—0,2 / 0,25—0,3	0,2—0,25 / 0,3—0,35	0,25—0,3 / 0,35—0,4	0,3 углерод. сталь / 0,25 быстрор. сталь
Машиноподел. чугун . . .	0,1—0,15 / 0,25	0,15—0,2 / 0,4	0,2—0,25 / 0,5	0,25—0,3 / 0,5	0,3 углерод. сталь / 0,6—0,8 быстрор. сталь

Для сверл из быстрорежущих сталей число оборотов при скорости резания в 20 *м/мин* получается из таблицы:

Таблица 23.

D мм	Число оборотов в минуту	*D мм*	Число оборотов в минуту	*D мм*	Число оборотов в минуту
6	1 060	18	355	38	165
7	910	19	335	40	160
8	800	20	320	42	150
9	700	21	300	44	145
10	640	22	290	46	135
11	580	24	265	48	130
12	530	26	245	50	125
13	490	28	225	52	120
14	455	30	212	54	118
15	425	32	200	56	113
16	400	34	185	58	110
17	375	36	175	60	106

Для хороших быстрорежущих американских и английских спиральных сверл наивыгоднейшие скорости резания и подач в зависи-



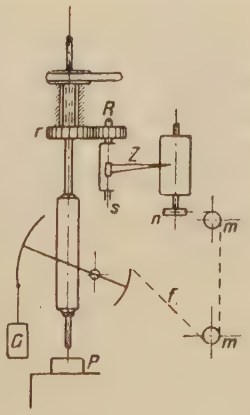
Фиг. 317.

мости от величины их диаметра выбираются на основании нижеследующей диаграммы (фиг. 317).

Данные этой диаграммы, построенной для мягкой стали, для чугуна в части скоростей подачи вполне сохраняются, а скорости резания уменьшаются на 20%.

Испытание материалов помощью сверления.

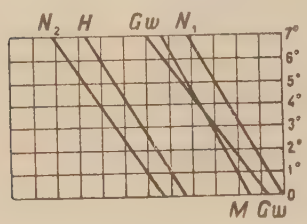
Хорошо заточенные и правильно изготовленные сверла в современных рационально поставленных производствах являются не только прекрасными режущими инструментами, но они также могут служить средством для испытания твердости обрабатываемых материалов.



Фиг. 318.

Для испытания твердости материалов служит особый сверлильный станок (фиг. 318), снабженный приводным пишущим аппаратом. Помощью шнура f через ролики m, m, n барабану этого последнего сообщается вращение со скоростью, пропорциональной подаче. Подача сверла производится за счет натяжения груза G так, что величина ее для мягких металлов получается больше, чем для твердых. Отношение величины погружения сверла к числу оборотов

его записывает особая стрелка Z таким образом, что число оборотов шпинделя через шестерни r и R передается шпинделку S, и в силу этого подвигающаяся по нему чертилка Z записывает на вращающемся барабане кривую отношений. Так как в диаграмме (фиг. 319) на оси абсцисс получаются величины, пропорциональные подаче, а на ординатах — величины, пропорциональные числу оборотов, то твердость материала выразится в зависимости от угла наклона полученной линии к оси абсцисс (фиг. 319). Чем меньше подъем этих линий тем мягче материал, и чем он круче, тем материал тверже. Чтобы иметь возможность сравнивать твердость материала, высверливают испытываемый кусок например на глубину 70 *мм*, и пусть диаграмма первого сверления даст (N) отклонения конца линии на абсциссе на 45,2 *мм*, а второго (N_2) — 47,4 *мм*, т. е. в среднем 46,3 *мм*. Если эту величину отклонения принять за степень твердости в 100, то из диаграммы другого металла GW, давшего отклонение в 55,5 *мм*, степень его найдется:



Фиг. 319.

$$H = 46{,}3 \cdot \frac{100}{55{,}5} = 83{,}4$$

или в общем виде:

$$H = m \cdot \frac{100}{n}.$$

Конечно такое испытание дает лишь относительные значения твердости, но все же они имеют громадный смысл при выборе скоростей резания и подач, и потому этот способ пробы путем сверления дает хорошее руководство для рационального использования станков и инструментов, в особенности там, где пробе подвергаются чугунные, стальные и бронзовые отливки.

ГЛАВА V.

РАЗВЕРТЫВАНИЕ ОТВЕРСТИЙ.

При сверлении дыр спиральными сверлами им очень часто приходится давать такие размеры, чтобы входящие в них стержни сидели в них либо абсолютно плотно без всякой качки, либо наоборот между стержнем и стенками дыры должны существовать строго определечные зазоры. Естественно, что нормальным сверлом достигнуть полной желательной точности нельзя, учитывая как неточности по диаметру сверла, так и принимая во внимание существующие хотя и незначительные отклонения остроконечности от оси вращения, приводящие к тому, что отверстие получается всегда не вполне правильным. Для уничтожения этих недостатков сверлильных дыр и для получения точных размеров их после сверления необходимо еще расширять и высверливать; эту задачу выполняют особые инструменты, носящие название разверток или райберов. По характеру работы все развертки разделяются на две группы:

1) развертки с углом резания больше 90° и потому увеличивающие дыру путем выпрямления и выглаживания неровностей — это так сказать шабера, работающие вращательным движением;

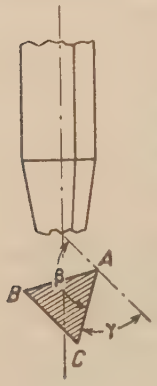
2) развертки с углом резания в 90° и менее и потому работающие снятием стружки сплошного или правильно сколотого характера. Эти развертки, как и сверла или фрезы, снимают более или менее толстый слой металла.

Фиг. 320.

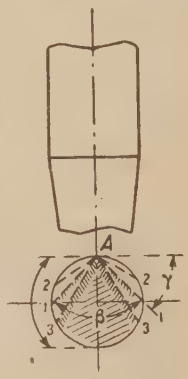
Первые представляют собой стальной, закаленный стержень, у которого на длине MN (фиг. 320) боковая поверхность представляет многогранную призму, а конец MP усеченную пирамиду.

Диаметр круга, в который вписано сечение призмы, делается равным желательному диаметру развертывания, а длина MN несколько более длины высверленной дыры, дабы обеспечить послед-

ней совершенно одинаковый диаметр на всем протяжении. Конец *MP* делается так, что его диаметр немного меньше высверленного отверстия и служит для постоянного входа развертки в дыру. Хвост развертки делается различно в зависимости от характера ее работы и от того, чем она удерживается в стенке. Чтобы развертка лучше направлялась в дыре, ее снабжают большим числом граней, но при этом угол резания у нее возрастает и она все более и более приближается к шаберу. Так углы для многогранных разверток (фиг. 321) будут:



Фиг. 321.



Фиг. 322.

Для 3-гранных $\alpha = \beta + \gamma = 60^\circ + 60^\circ = 120^\circ$,
„ 4 „ „ „ „ $= 90^\circ + 45^\circ = 135^\circ$,
„ 5 „ „ „ „ $= 108^\circ + 36^\circ = 142^\circ$,
„ 6 „ „ „ „ $= 120^\circ + 30^\circ = 150^\circ$,
„ 7 „ „ „ „ $= 128{,}5^\circ + 25{,}7^\circ = 154{,}2^\circ$,
„ 8 „ „ „ „ $= 135^\circ + 22{,}5^\circ = 157{,}5^\circ$.

Или в общем виде для n-гранной развертки получится:

$$\beta^\circ = 2d^\circ(n-2):n = \frac{2d(n-2)}{n} = \frac{180^\circ(n-2)}{n}$$

$$\gamma^\circ = (2d^\circ - \beta):2 = \frac{2d - \frac{2d(n-2)}{n}}{2} = \frac{2d^\circ}{n} = \frac{180^\circ}{n},$$

следовательно:

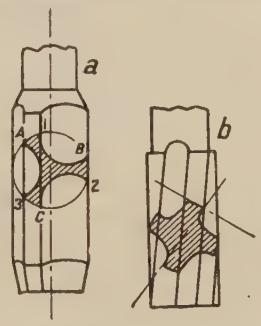
$$\alpha^\circ = \beta^\circ + \gamma^\circ = \frac{2d(n-2)}{n} + \frac{2d}{n} = \frac{2d(n-1)}{n} = \frac{180^\circ(n-1)}{n},$$

т. е. угол резания получается, если отношение числа граней без одной к полному числу их умножить на 180°.

Чтобы улучшить направление развертки, ее вытачивают в виде цилиндра с коническим конусом и вдоль образующей, как у пушечного сверла, снимают две фаски с ребром пересечения параллельно оси вращения. При этом чем больше дуга, охватывающая срезанные грани (фиг. 322), тем острее лезвие и тем меньше угол

резания, тем меньше остается цилиндрическая часть и тем хуже получается направление развертки.

Развертки с гранями, срезанными по очертанию 2*A*2, имеют наилучшее направление, но благодаря очень большому углу резания они работают весьма тяжело; развертки с гранями 3*A*3 имеют несколько меньший угол резания, работают относительно легче первых, но при большом срезе цилиндра под грани у них получается очень маленькое направление, и потому ожидать от них точной работы нельзя. Обыкновенно профиль развертки делается по очертанию 1*A*1 и для направления остается половина цилиндрической поверхности. Такие развертки работают одинаково в обе стороны и дают вполне правильную и точную дыру. Недостаток этих разверток - это трудность их заточки, сводящаяся к заточке цилиндра и плоских граней, при этом диаметр развертываемой ими дыры уменьшается.



Фиг. 323.

Развертки второго вида с углом резания не более 90° представляют собой особого вида фрезы или сверла со многими режущими гранями. Они делаются чаще всего параллельно оси вращения по образующей цилиндра и иногда по спирали с очень большим шагом, — в последнем случае направление их значительно уменьшается, а сама работа резания протекает более плавно (фиг. 323 а, б).

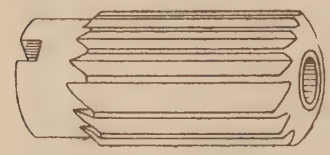
Число зубцов развертки делают обычно кратным двум, а деление (разбивку) их выполняют так, что шаги по окружности различны, сохраняя однако условие, чтобы хотя одна пара вершин зубцов лежала на одном диаметре, что диктуется условиями обмера. Неравномерная разбивка шага обеспечивает лучшую чистоту поверхности.

Если у такой развертки снять заднюю грань по спирали или сошлифовать по плоскости, то получается односторонняя развертка, работающая либо только направо, либо только налево.

Развертки значительного размера в целях экономии металла делают чаще всего без хвоста в виде фрезы с насадным каналом (фиг. 324) и европейским зубцом.

Способ закрепления развертки на ее оправке зависит частью от характера имеющихся уже оправок, частью же от приемов работы ею.

Наиболее часто встречающееся соединение, изображенное на фиг. 324, применяется обычно у небольших разверток, крупные развертки свыше 2″ в диаметре насаживаются в большинстве на резьбе и затягиваются еще контргайкой.



Фиг. 324.

Изготовление и термическая обработка разверток совершенно совпадает с приемами, описанными для фрез, и потому на них более не будем останавливаться.

Кроме описанных выше типичных представителей разверток в практике встречается громадное число их разновидностей — они однако тогда относятся либо к фрезам, либо к сверлам.

Stanford University Libraries
3 6105 023 203 339